

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи .  
(тип кваліфікаційної роботи)  
магістра .  
(освітній рівень)

на тему «Дослідження безплазового метода технічної підготовки виробництва  
легких літаків у системі безперервної інформаційної підтримки життєвого  
циклу виробів»

ХАІ.104.163н.24В.134.10695610 ПЗ

Виконав: здобувач 2 курсу, групи № 163н,

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»  
(код та найменування)

Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-  
космічна техніка»  
(код та найменування)

Освітня програма «Технології виробництва та  
ремонт літальних апаратів»  
(найменування)

Скорий І. Л.  
(прізвище та ініціали здобувача)

Керівник Юрій ВОРОБІЙОВ  
(ім'я та прізвище)

Рецензент Юрій ЧОРНИЙ  
(ім'я та прізвище)

Харків – 2024

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського**  
**«Харківський авіаційний інститут»**

Факультет \_\_\_\_\_ літакобудування \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ технології виробництва літальних апаратів \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Галузь знань \_\_\_\_\_ 13 «Механічна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код та найменування)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» \_\_\_\_\_  
(код та найменування)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів» \_\_\_\_\_  
(найменування)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри № 104**

\_\_\_\_\_ Катерина МАЙОРОВА.

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

\_\_\_\_\_ Скорого Ігоря Леонідовича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Дослідження безплазового метода технічної підготовки виробництва легких літаків у системі безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу виробів»,  
керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Воробйов Юрій Анатолійович, д.т.н., професор \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затвердені наказом Університету № \_\_\_\_\_ від « 23 » листопаду 2024 року.
2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ 21 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, науково-технічна література, ресурси Інтернету.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)  
Розділ 1. Безплазовий метод технічної підготовки виробництва легких літаків: використання електронного макета виробу для технічної підготовки виробництва; метод створення 3D аналітичного еталона поверхні вертикального оперення легкого літака; використання CALS-стандартів; пріоритети впровадження безплазового метода виробництва авіаційної техніки; забезпечення точності та ув'язування при використанні безплазового метода виробництва. Розділ 2 Інформаційне забезпечення життєвого циклу легких літаків у системі CALS-технологій: підходи до розробки моделей життєвого циклу вітчизняних легких літаків; використання концепції CALS для забезпечення життєвого циклу легких літаків. Розділ 3 Економічна ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництві легких літаків:

концепція підтримки процесів життєвого циклу виробництва виробів у межах інтегрованого єдиного інформаційного середовища; економічні аспекти CALS-технологій на стадіях технічної підготовки виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу презентація кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1. Безплазовий метод технічної підготовки виробництва легких літаків	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024
Розділ 2 Інформаційне забезпечення життєвого циклу легких літаків у системи CALS-технологій	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024
Розділ 3 Економічна ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництві легких літаків	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
(підпис) (ім'я та прізвище)

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Розділ 1. Безплазовий метод технічної підготовки виробництва легких літаків	21.06.2024	
2	Розділ 2 Інформаційне забезпечення життєвого циклу легких літаків у системи CALS-технологій	21.06.2024	
3	Розділ 3 Економічна ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництві легких літаків	21.06.2024	

**Здобувач** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Скорий І. Л.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Юрій ВОРОБЙОВ** \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

## ЗМІСТ

Реферат .....	6
Вступ.....	7
Розділ 1 Безплазовий метод технічної підготовки виробництва легких літаків	10
1.1 Використання електронного макета виробу для технічної підготовки виробництва .....	11
1.2 Метод створення 3D аналітичного еталона поверхні вертикального оперення легкого літака .....	14
1.3 Використання CALS-стандартів .....	18
1.4 Пріоритети впровадження безплазового метода виробництва авіаційної техніки.....	19
1.5 Забезпечення точності та ув'язування при використанні безплазового метода виробництва .....	20
Висновки по розділу 1 .....	31
Розділ 2 Інформаційне забезпечення життєвого циклу легких літаків у системи CALS-технологій.....	32
2.1 Підходи до розробки моделей життєвого циклу вітчизняних легких літаків.....	33
Проблема створення конкурентоспроможної авіаційної техніки та шляхів її рішення .....	33
Відображення функціонально-вартісного аналізу у системах управління життєвим циклом .....	35
Оцінка техніко-економічної ефективності конструктивно-технологічних рішень .....	38
Зовнішні та внутрішні умови системи життєвого циклу виробу .....	39
2.2 Використання концепції CALS для забезпечення життєвого циклу легких літаків .....	41
Висновки по розділу 2.....	44
Розділ 3 Економічна ефективність впровадження інформаційних технологій у виробництві легких літаків.....	45
3.1 Концепція підтримки процесів життєвого циклу виробництва виробів у межах інтегрованого єдиного інформаційного середовища .....	46

3.2 Економічні аспекти CALS-технологій на стадіях технічної підготовки виробництва .....	50
Висновки по розділу 3 .....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	55

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 57 с., 6 рис., 26 джерел.

АВІАЦІЙНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ЛЕГКИЙ ЛІТАК, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБУ, CALS-ТЕХНОЛОГІЇ, БЕЗПЕРЕРВНА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ВИРОБУ, ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА, ІНТЕГРОВАНЕ ЄДИНЕ ІНФОРМАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Об'єкт дослідження: легкі літаки авіації загального призначення.

Предмет дослідження: безплазовий метод підготовки виробництва легких літаків.

Мета дослідження: скорочення часу підготовки виробництва, підвищення якості виготовлення деталей та складання авіаційних конструкцій, модернізація структури виробничих підприємств.

Методи дослідження – системний та порівняльний аналіз науково-технічної літератури з проблеми впровадження безплазового метода технічної підготовки виробництва, CALS-технологій; причинно-наслідкові зв'язки оцінки якості виробів від обраних технологій адитивного виробництва.

Сформульовано основні принципи системи безплазової підготовки виробництва. Розроблено схема інформаційних потоків при безплазовій підготовці виробництва. Запропоновано алгоритм створення аналітичного еталону повного визначення вертикального оперення легкого літака. Надано принципи використання CALS-стандартів. Сформульовано пріоритетні напрямки впровадження безплазового метода виробництва авіаційної техніки.

Проведено аналіз тенденцій створення моделей життєвого циклу в наукомістких галузях, до яких відноситься авіабудування. Викладено інфраструктурні вимоги під час створення системи життєвого циклу авіаційної техніки. Висловлено пропозицію щодо застосування певної структури даних (специфікації) – аналогічної закордонним аналогам. Запропоновано архітектуру системи життєвого циклу для авіаційної техніки у загальному вигляді, яка дозволить удосконалювати функціонально-вартісні показники.

Виконано оцінка техніко-економічної ефективності конструктивно-технологічних рішень. Надано приклади використання CALS-технологій для забезпечення життєвого циклу легких літаків.

Виконано оцінка економічної ефективності впровадження інформаційних технологій у виробництві легких літаків.

## ВСТУП

**Актуальність:** Розвиток сучасного авіабудування характеризується посиленням конкуренції на світових ринках, що змушує підприємства вирішувати завдання забезпечення найвищої якості продукції та економію ресурсів (матеріальних, інтелектуальних, часових), що залучаються для реалізації конкретних проєктів чи програм на всіх стадіях життєвого циклу виробу (далі – ЖЦВ). У економічній ситуації, що склалася, розраховувати на капіталомісткі способи підйому конкурентоспроможності підприємств не доводиться. Найбільшу віддачу дають так звані «м'які» методи збільшення продуктивності та підвищення якості, орієнтовані на удосконалення організації (інжинірингу) ЖЦВ. До «м'яких» ставляться, передусім, нові інформаційні технології. У цих умовах традиційний, послідовний підхід до розробки нових виробів поступається місцем іншому, який отримав назву «паралельне проєктування».

Впровадження цього підходу зажадало нових концепцій та нових ідей. Серед них базовою стала ідея інформаційної інтеграції стадій ЖЦВ, яка лягла в основу безперервної інформаційної підтримки ЖЦВ (далі – ІПВ).

Ситуація на світовому ринку наукомісткої продукції розвивається у бік повного переходу на безпаперову електронну технологію проєктування, виготовлення, обслуговування та збуту наукомісткої продукції. Після 2005 року вже неможливо продати на зовнішньому ринку машинно-технічну продукцію без відповідної міжнародним стандартам безпаперової електронної документації.

Роботи, що передують серійному виготовленню легких літаків, тобто технічна підготовка виробництва поділяється на конструкторську, технологічну та організаційну підготовку. У процесі конструкторської підготовки виробництва здійснюється створення проєкту дослідного зразка літака цього класу, що відповідає сучасному рівню розвитку авіаційної науки та техніки.

У завдання технологічної підготовки виробництва (далі – ТПВ) входить забезпечення якісного серійного виготовлення літаків за найменших витрат праці та коштів у задані терміни та в необхідних кількостях.

Для високоякісного та своєчасного виконання величезного комплексу робіт із технологічної підготовки серійного виробництва нового виробу необхідні ефективні принципи організації цих робіт.

Важливим напрямом удосконалення ТПВ є автоматизація її процесів. У зв'язку з цим останнім часом відбулося переосмислення та значне розширення класичного поняття «технологія». Якщо раніше цей термін розумівся як «сукупність методів і засобів з переробки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, виробів і т. д. у матеріальному виробництві», то сьогодні це поняття набуло нового, більш всеосяжного значення.

Сьогодні технологія – це сукупність управлінських, науково-дослідних, дослідно-конструкторських та інжинірингових процесів, що включає також людський потенціал, яке є фундаментом продуктивної діяльності суспільства.

Галузеві авіабудівні технології спрямовані на створення матеріальних об'єктів, що характеризуються, як відомо, високою наукомісткістю з довгим життєвим циклом. Тому принципово новим та надзвичайно важливим моментом є поширення функцій машинобудівних технологій на проєктування (моделювання) та реалізацію ЖЦВ, що включає не лише матеріальний, а й нематеріальний етап (задум, проєкт, план), а також наступні етапи (використання та утилізацію). Новим змістом наповнилося також поняття «моделювання». Створення нового виробу представляється як процес моделювання його повного життєвого циклу та гармонізації цього циклу з моделлю середовища, що оточує виріб.

Інформаційні технології – це сукупність засобів і методів переробки інформації, що базуються на сучасній обчислювальній техніці. Інформаційні технології включають до себе:

1. Моделювання технічних об'єктів будь-якої складності.
2. Тривимірна комп'ютерна графіка.
3. Моделювання швидкоплинних процесів та управління ними.

Глобальна інформатизація – це процес інформаційної (комп'ютерної) підтримки галузевої технології, є фундаментом продуктивної діяльності суспільства. Глобальна інформатизація, впроваджуючи інформаційні технології у структуру галузевих технологій і замінюючи їх «речові» компоненти ефективнішими та екологічно безпечними інформаційними компонентами, інтенсивно підвищує ефективність інтелектуальної складової діяльності суспільства.

Технологія підготовки виробництва включає різноманітні за характером, складністю і трудомісткістю роботи. Найбільш трудомісткими з цих робіт є створення нового спеціального обладнання, плазово-шаблонного, контрольно-



еталонного та технологічного оснащення.

У той же час для проведення ТПВ, незважаючи на складність, велику трудомісткість і відповідальність, встановлюються дуже стислі терміни. Конструкція літаків дуже швидко морально застаріває, тому затримка часу між закінченням проектування та випуском першого серійного виробу вкрай небажана. Однак цей час і займає ТПВ.

ППВ – це новий, інтегрований підхід до розробки виробів. В основі технології лежить ідея поєднаного проектування виробу, а також його виготовлення та супроводу, що координується за допомогою спеціально створеного для цієї мети розподіленого інформаційного середовища. Подібна технологія дозволяє використовувати проєктні дані, починаючи з ранніх стадій проектування, одночасно різними групами фахівців.

Дослідження ППВ – технологій йде за трьома головними напрямками:

Перше пов'язане з економічним обґрунтуванням ефективності впровадження ППВ-технологій.

Другий напрямок охоплює питання, пов'язані з організацією та управлінням ППВ-технологіями. Іншими словами, необхідно забезпечити створення організації виробництва, яка була б найбільш адекватною специфіці ППВ-технології, інакше досягнення відчутних економічних результатів буде неможливим.

Третій напрямок пов'язаний із розробкою стратегії планування розвитку та впровадження ППВ-технології, що вимагає для свого вирішення комплексного розгляду завдань дослідження виробництва, проектування, доставки, монтажу та пуску в експлуатацію її складових, підготовки кадрів та обслуговування.

Дослідження ППВ-технологій у Україні йде з відставанням від країн світу.

Законодавцями у дослідженнях є корпорації Boeing та Airbus. Щороку на розвиток інформаційних технологій витрачається 1,4 мільярда доларів.

Однак останнім часом активне дослідження цієї проблеми відбувається і в Україні.

**Об'єкт дослідження:** легкі літаки авіації загального призначення.

**Предмет дослідження:** безплазовий метод підготовки виробництва легких літаків.

**Мета дослідження:** скорочення часу підготовки виробництва, підвищення якості виготовлення деталей та складання авіаційних конструкцій, модернізація структури виробничих підприємств.

**РОЗДІЛ 1 БЕЗПЛАЗОВИЙ МЕТОД ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ  
ВИРОБНИЦТВА ЛЕГКИХ ЛІТАКІВ**

## **1.1 Використання електронного макета виробу для технічної підготовки виробництва**

Плазово-шаблонний метод ув'язування (далі – ПШМ) ось вже більше п'ятдесяти років залишається основним методом ТПВ авіаційної техніки (далі – АТ). Складність форми конструктивних елементів планера літака не дозволяє задавати геометричні властивості сполучаємих складових частин (далі – СЧ) і ув'язувати їх (погоджувати форму і розміри) за допомогою традиційних машинобудівних креслень. Для цього викреслюються (розбиваються) плази, на яких в натуральну величину надаються конструктивні елементи, а їх виготовлення здійснюється за шаблонами, знятим з плазу. Основними недоліками цього методу є його висока трудомісткість і тривалість циклу ТПВ, оскільки для запуску у виробництво літака необхідно виготовити кілька сотень плазів і десятки тисяч шаблонів.

У 80-ті роки минулого сторіччя впровадження в авіаційній промисловості систем геометричного моделювання дозволило модифікувати цей метод і автоматизувати ряд трудомістких процедур:

- геометрична модель поверхні (далі – ГМП) стала використовуватися для побудови контурів перетинів при розбивці плазів і розроблення керуючих програм виготовлення обводообразующої оснастки на обладнанні з ЧПК;

- для ув'язування і відтворення конструктивних елементів з окремих перетинах стали використовуватися можливості 2D-моделювання та засоби креслярських пакетів;

- для розроблення керуючих програм при виготовленні деталей на обладнанні з ЧПК стали розроблятися поверхневі геометричні моделі.

Ця методологія досі залишається основою підготовки виробництва і підкріплюється галузевою нормативно-технічною документацією (далі – НТД). Саме тому на багатьох авіаційних підприємствах, незважаючи на придбання імпортних CAD/CAM-систем, успішно експлуатується система АСК/ТПП «Кредо», що має потужні модулі поверхневого моделювання та ЧПК (рисунок 1.1).

Поява важких CAD/CAM-систем, що дозволяють моделювати не тільки деталі, але і складальні одиниці (далі – Скл.Од.), що створює передумови для переходу на безплазове виробництво. В основі методу безплазового ув'язування лежить можливість створення електронного макета (далі – ЕМ) виробу, при цьому процедури узгодження деталей по окремих перерізів на плазах замінюються процедурами просторового ув'язування на електронних макетах. Ця прогресивна на перший погляд методологія, незважаючи на багаторічний

досвід освоєння важких CAD/CAM-систем, не знаходить промислового впровадження в силу ряду обставин, характерних для більшості підприємств (рисунок 1.2).

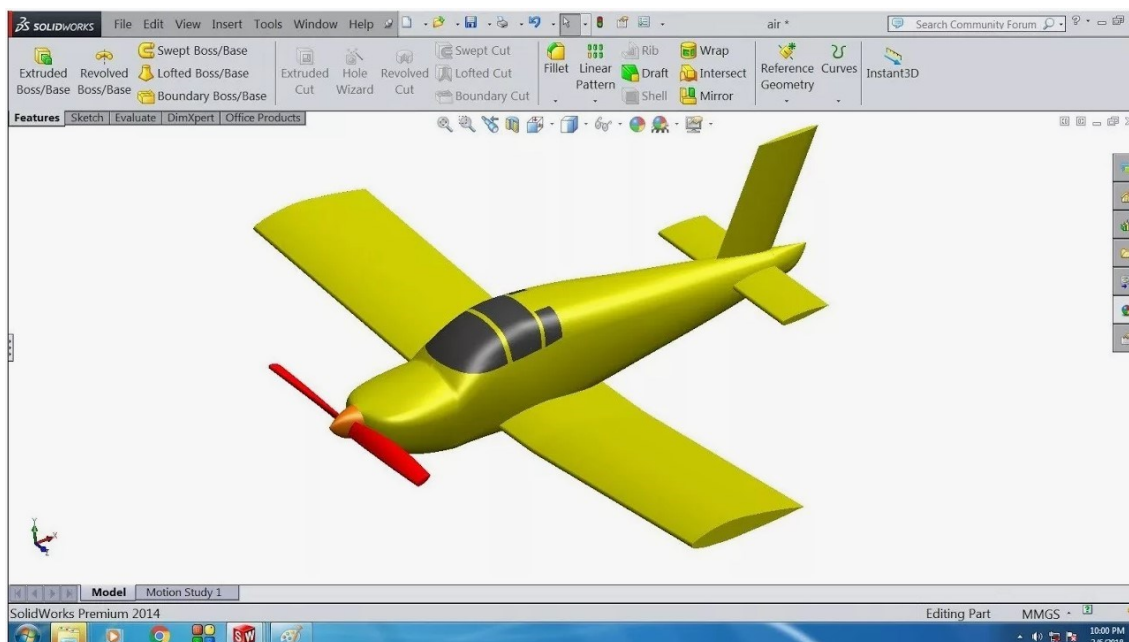


Рисунок 1.1 – Геометрична модель поверхні легкого літака



Рисунок 1.2 – Схема інформаційних потоків при плазовій підготовці виробництва [3, 5]

По-перше, розробка креслень при випуску конструкторської документації (далі – КД) здійснюється по традиційній паперовій технології. Методологія 3D-конструювання освоюється з великими труднощами в силу як об'єктивних, так і суб'єктивних причин. Використання креслярських пакетів для оформлення та

подання креслень в електронному вигляді ніяк не зачіпає процесів геометричного ув'язування.

По-друге, створені на основі неув'язаних креслень ЕМ містять багато помилок і не можуть служити джерелом інформації для вирішення завдань підготовки виробництва. Розроблення ЕМ здійснюється, як правило, не конструкторами, а системщиками, які освоїли певну САD-систему, але не беруть участь в реальному конструюванні.

По-третє, зміни, що вносяться у КД внаслідок плазових методів ув'язування та відпрацювання технологічності, в принципі можуть бути внесені в ЕМ, проте слід підкреслити, що ЕМ при такому підході залишається засобом, дублюючим зберігання геометричної інформації, а не засобом ув'язування.

По-четверте, оскільки відсутня НТД, що визначає інформативність і статус ЕМ в КД, а технологічні підрозділи, як і раніше працюють з кресленнями, плазами і шаблонами, то ЕМ практично «підвисають» і не беруть участь в процесах підготовки виробництва. Навіть при розробленні керуючих програм для механообробки деталей їх геометрія вивіряється на основі плазової інформації.

Сформулюємо основні принципи системи безплазової підготовки виробництва (рисунок 1.3).

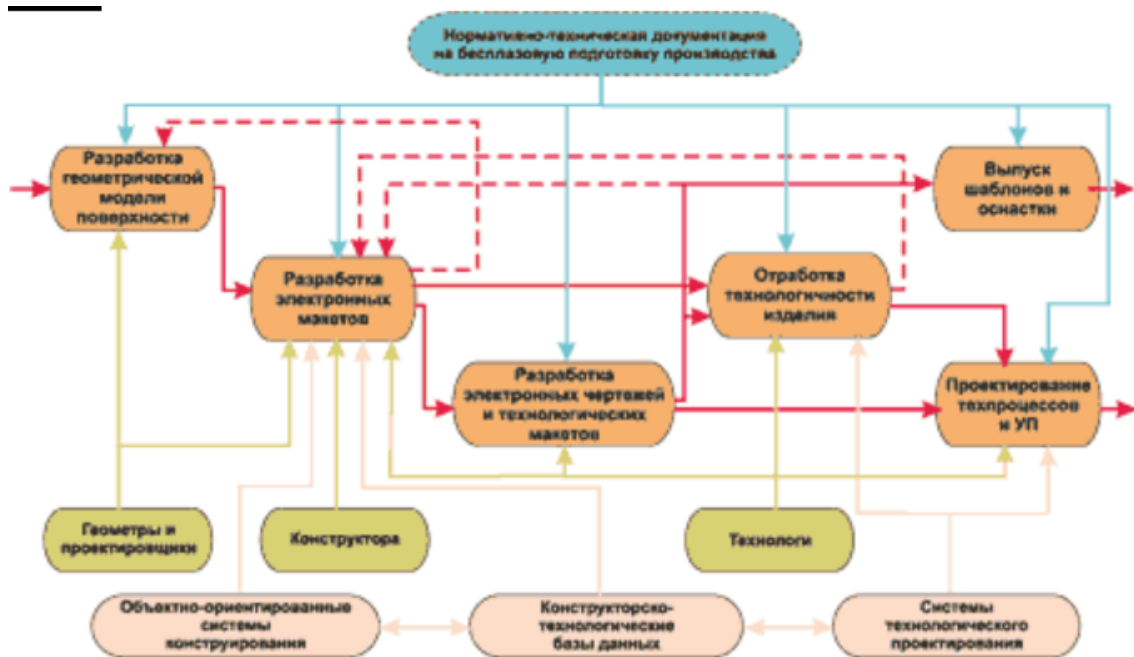


Рисунок 1.3 – Схема інформаційних потоків при безплазовій підготовці виробництва [4]

1. ЕМ стає еталоном зберігання геометричної інформації про виріб та використовується як засіб просторового ув'язування сполучуваних елементів

конструкції. Формування ЕМ деталей і Скл.Од. здійснюється конструкторами з використанням об'єктно-орієнтованих систем і баз даних типових і стандартизованих елементів конструкції (підсічки, рифти, отвори, вирізи, кріпильні елементи тощо). У створенні ЕМ беруть участь технологи, які в режимі групового використання даних проводять відпрацювання технологічності виробу і дають рекомендації щодо зміни його конструкції.

2. ЕМ використовується як джерело інформації для отримання моделей і електронних документів системи безплазової підготовки виробництва:

а) електронних креслень (далі – ЕК) (складальних і робочих), номенклатура, кількість і склад інформації яких повинні бути переглянуті і заново регламентовані. Нариси конструктивних елементів на ЕК формуються шляхом проектування або побудови перерізів ЕМ. Креслення перетворюється, по суті, в плаз-креслення, оскільки він еталонує реальну геометрію виробу;

б) технологічних електронних макетів (далі – ТЕМ), які містять частину геометричної інформації, необхідної для рішення конкретної технологічної задачі. Геометрія ТЕМ може відрізнитися від вихідного конструкторського ЕМ, як, наприклад, геометрія деталі до складання відрізняється від її геометрії після виконання ряду складальних операцій (припасування, зняття припусків, свердління отворів, з'єднання тощо).

3. Значну частину шаблонів все одно доведеться робити (безплазове – не значить безшаблонне), оскільки виготовлення і контроль елементів конструкції буде на перших порах здійснюватися за традиційною технологією. Відмова від шаблонів можлива тільки після переоснащення всіх етапів виробництва (включаючи складання) новим поколінням обладнання з ЧПК.

4. Проектування технологічних процесів (далі – ТП) буде здійснюватися з використанням прикладних систем, причому вихідна інформація про виріб буде передаватися у вигляді ТЕМ і ЕК та підтримуватися інтегрованої інформаційної середовищем підготовки виробництва.

## **1.2 Метод створення 3D аналітичного еталона поверхні вертикального оперення легкого літака**

При створенні нових зразків АТ активно впроваджується та проходить апробацію нова методологія інтегрованого проектування. Вона заснована на принципах та методах проектування та моделювання збірних літакових конструкцій за допомогою комп'ютерних інтегрованих систем CAD/CAM/CAE/PLM. Метод базується на розробленні 3D аналітичних еталонів моделі поверхні літака (далі – АЕ), його СЧ, збірних вузлів, нових

конструктивних елементів, кріпильних деталей, комп'ютерних методів розрахунку об'ємного загального та локального напружено-деформованого стану (далі – НДС) в елементах з'єднання, нових технологій встановлення кріпильних елементів з упругопластичним радіальним натягом, наступним експериментально-розрахунковим методом визначення характеристик втомної довговічності типових з'єднань. Це дозволить проєктувати збірні конструкції із заданими характеристиками статичної міцності, втомної довговічності, герметичності та якості зовнішньої поверхні за мінімальних витрат маси.

В авіабудуванні для прискорення проєктування та початку серійного виробництва нових зразків послідовно впроваджується метод агрегатного проєктування та моделювання, що полягає у поділі виробів на ряд агрегатів з паралельним за часом їх опрацюванням.

Розглянемо метод проєктування вертикального оперення (далі – ВО) як агрегату планера літака з використанням системи CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS. Як приклад обрано ВО легкого літака з так званою нормальною, або класичною схемою розміщення поверхонь оперення, в якій вертикальні та горизонтальні поверхні оперення розміщувалися в хвостовій частині літака, утворюючи хвостове оперення літака.

Алгоритм створення моделі вертикального оперення з використанням системи CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS показано на рисунку 1.4.

Проєктування як усього літака в цілому, так і окремих його агрегатів завжди починається з аналізу вимог, що висуваються до даного типу літака, аналізу даних статистики, а також тенденцій та перспектив зміни тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) у часі.

Враховуючи дані узагальненого аналізу та науково-технічного доробку, на етапі ескізного проєктування обирають ТТХ літака, що перевищують досягнутий рівень.

Ескізне проєктування включає:

- 1) вибір основних геометричних параметрів та розміщення ВО;
- 2) розроблення конструктивно-силової схеми та схеми кріплення ВО;
- 3) визначення маси ВО.

Проєктування оперення має забезпечити отримання необхідних характеристик стійкості та керованості літака на всіх можливих режимах польоту, також достатню ефективність органів управління для виведення літака в нормальний режим польоту після мимовільного перевищення критичних значень кутів атаки, звалювання та попадання літака в режим пікірування після звалювання або штопора [1].

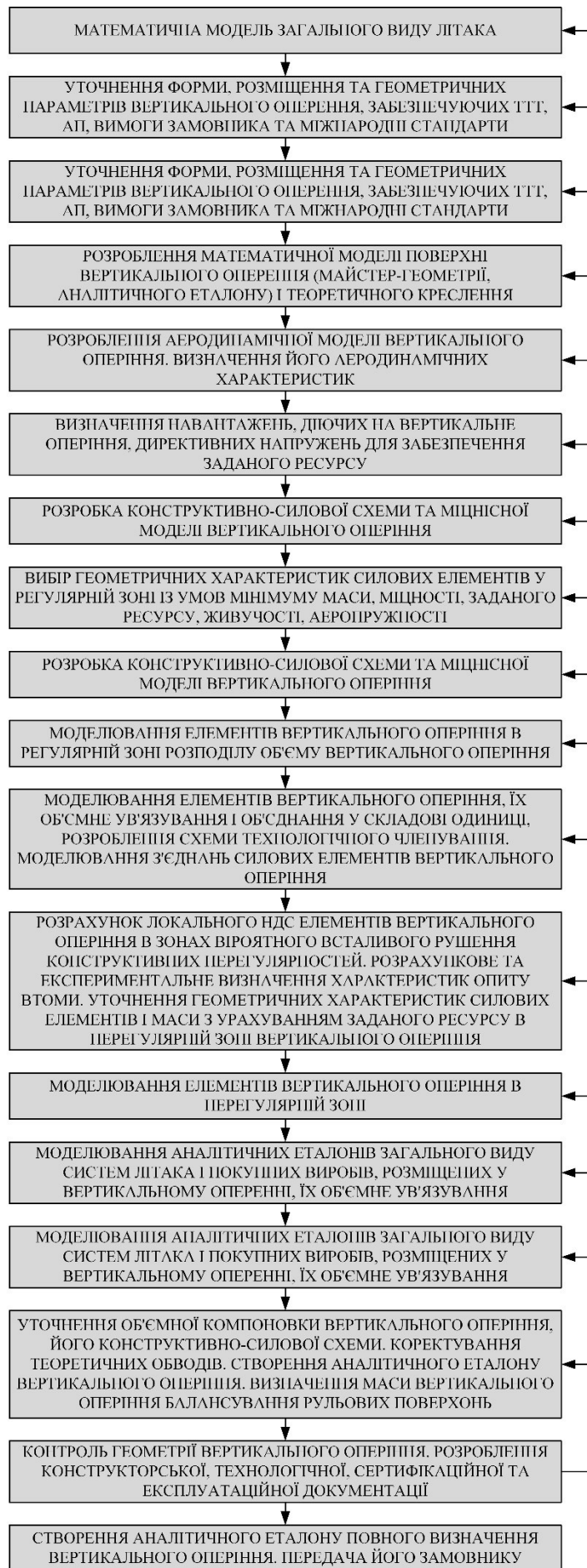


Рисунок 1.4 – Алгоритм створення моделі вертикального оперення



При виборі параметрів ВО необхідно врахувати наступне:

а) ВО не повинно потрапляти в зривний режим внаслідок збурень при відхилення керма наряду або при відмові двигуна;

б) має бути забезпечено посадку літака при швидкості бічного вітру до 55 км/год;

в) літак повинен мати позитивний запас шляхової та поперечної стійкості та демпфувати короткоперіодичні коливання у цих напрямках.

На першому етапі, виходячи з поставлених завдань та обмежень, враховуючи дані статистики, вибираємо відносні геометричні параметри ВО (стріловидність, подовження, звуження, відносну товщину профілів перерізу) у першому наближенні, визначаємо необхідні площі (самого ВО та керуючих поверхонь).

Вибір параметрів ВО багато в чому залежить від положення центру тяжіння та компоновання літака, тому в процесі проектування параметри вибирають послідовними методами наближень.

На основі вибраних параметрів та з урахуванням даних аеродинамічних продувок моделі літака приступаємо до математичного моделювання поверхні ВО.

Результатом математичного моделювання є таблиці аеродинамічних профілів у контрольних перерізах та таблиці параметрів перерізів ВО у дугах кривих 2-го порядку. Використовуючи дані цих таблиць, будуємо геометричну модель ВО у комп'ютерній інтегрованій системі CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS.

При створенні геометричної моделі ВО літака в системі CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS як вихідні дані використовують:

- теоретичне креслення ВО;
- таблиці контрольних перерізів;
- вимоги до аеродинамічних поверхонь.

Комп'ютерна інтегрована система CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS дозволяє здійснювати дво- та тривимірне конструювання та моделювання конструкцій літаків, їх аналіз та забезпечення ТПВ.

Базою для моделювання поверхонь є набір кривих, що задають геометрію граничних умов поверхні, що створюється. Цей набір кривих називається каркасною моделлю.

Моделювання об'єктів CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS проводять від зовнішньої поверхні всередину агрегату, тому під моделлю поверхні мають на увазі аналітичну модель теоретичного обведення агрегату. Цю модель описують як кінцевий набір поверхонь. Тому першим кроком на другому етапі стане

створення набору кривих для подальшої побудови за ними відповідних поверхонь агрегату. Від правильності виконуваних побудов залежить правильність всього подальшого процесу моделювання [2].

Для опису обводів несучих поверхонь найбільш широко застосовують криві другого порядку, оскільки вони мають кривизну одного знака, тобто не мають точок перегину. Це дуже важлива умова при побудові аеродинамічних профілів. Також найчастіше аеродинамічні профілі задають у вигляді теоретичних таблиць координат вузлових точок.

Після побудови одного аеродинамічного профілю подібним чином виконують побудову решти всіх профілів характерних перерізів і формують «каркасну модель несучої поверхні», необхідних для побудови моделі поверхні. Побудовані аеродинамічні профілі надалі використовують для створення електронних версій теоретичних та складальних креслень ВО. Таким чином, отримують можливість застосовувати ті самі побудови для створення і моделі, і креслень, чим виключається похибка при перенесенні розмірів з креслень на модель і моделі на креслення.

### **1.3 Використання CALS-стандартів**

Обмін електронними даними при безплатовій підготовці виробництва має здійснюватися в єдиному інформаційному просторі. Створення цього простору є однією з пріоритетних завдань впровадження CALS-технологій в авіаційній промисловості. Декларований в рамках концепції CALS принцип стандартизації даних потребує виваженої та продуманої реалізації. Необхідно виробити відповідь на ключове питання: які рішення в області CALS-технологій повинні і можуть бути закуплені за кордоном, а які розроблені самостійно.

Хоча НТД, яка діє в даний час в авіаційній промисловості, значною мірою застаріла і вже не відображає сучасних підходів до впровадження нових інформаційних технологій, вона продовжує забезпечувати випуск конкурентоздатної вітчизняної авіаційної техніки (далі – АТ). Методична стрункність, комплексність і продуманість діючої у нас системи державних і галузевих стандартів відзначаються і зарубіжними фахівцями. Тому так важливо не розвалити все цінне, що в ній є, а адаптувати вітчизняну НТД до вимог CALS-технологій.

Які небезпеки чекають на нашу промисловість в даний час, коли наукові і фінансові можливості держави значно підірвано. Опишемо тільки ряд «підводних каменів», які чекають нас при односторонньої орієнтації на зарубіжні CALS-стандарти:

– для виробів АТ в даний час не розроблені спеціалізовані протоколи застосування (AP STEP), як це вже зроблено для суднобудування, автомобілебудування, будівництва, електротехніки та ін. По всій видимості, рішення по CALS-технологій є закритими в рамках авіаційних корпорацій;

– стандарти на ТПВ носять фрагментарний характер, охоплюють лише деякі види ТП і не враховують специфіки авіаційного виробництва;

– оскільки в даний час Україна не займає лідируючого положення у міжнародних комітетах по розробці стандартів і не впливає на їх зміст, узгодження та затвердження, то пасивна роль перекладачів та інтерпретаторів означає для української промисловості гарантоване відставання в області CALS-технологій.

Пряме використання CALS-стандартів для впровадження нових інформаційних технологій є тривалим і непростим процесом, а в даний час, швидше за все, неможливим. Для розуміння і використання формальних описів процесів і даних, що застосовуються в стандарті ISO 10303 STEP, необхідна спеціальна підготовка, а на наших підприємствах таких фахівців практично немає. Тому так важливо розробляти національні рішення в області CALS-технологій для АП.

#### **1.4 Пріоритети впровадження безплатного метода виробництва авіаційної техніки**

Вклавши мільйони доларів на імпорتنі CAD/CAM-системи і не отримавши очікуваної віддачі в реальному проектуванні та підготовки виробництва, багато підприємств починають розуміти, що проблема є комплексною і не повинна зводитися до закупівлі базових програмно-технічних засобів. Багато рішень неможливо купити – їх необхідно розробляти в рамках науково-дослідних та експериментальних конструкторських робіт. Пріоритети фінансування слід зміщувати в бік створення та відпрацювання методик моделювання процесів конструювання і підготовки виробництва, інформаційного обміну між етапами життєвого циклу, розробки прикладних систем і баз даних конструкторсько-технологічного призначення. Для підготовки галузевих стандартів і керівних матеріалів, що враховують особливості вітчизняних технологій і організації виробництва, потрібно розробити галузеву програму в області CALS-технологій. Ця програма повинна передбачати створення методичних, організаційних і правових основ впровадження CALS-технологій в АП, підготовку та перепідготовку фахівців, а також вирішення цілого комплексу практичних завдань підготовки виробництва.

Реалізацію галузевої програми впровадження CALS-технологій можна здійснювати за двома напрямками: «зверху» – розробляючи нормативні документи і стандарти, і «знизу» – реалізуючи пілотні проекти, відпрацьовують певні етапи формування єдиного інформаційного простору.

### **1.5 Забезпечення точності та ув'язування при використанні безплатного метода виробництва**

Розвиток системи автоматизованого конструювання (далі – САПР К АСК) та автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (далі – АСТПВ), у складі систем автоматизованого проектування технологічних процесів (далі – САПР ТП), технологічності конструкції (далі – САПР-ТК), технологічного обладнання та оснастки (далі – САПР-ТО), розмірно-геометричного ув'язування (САПР-Пл) та програмування для обладнання з ЧПК (далі – САПР-Пр) дозволяє створити автоматизовану систему конструювання та виробництва літаків.

Створення такої автоматизованої системи набуло особливої актуальності у зв'язку з розвитком автоматизації виробництва на базі гнучких виробничих систем, тобто забезпечення взаємопов'язаних рішень у ланцюзі «конструкція – технологія – виробництво (ДКБ – НДІ – підприємство), що дозволяє різко скоротити терміни створення виробу, підвищити якість та техніко-економічну ефективність виробництва літаків, в сучасних умовах на базі єдиної інформаційної моделі виробу зазначений ланцюг складається з десятків і сотень учасників інтегрованої системи створення літаків. У сучасних умовах на базі єдиної інформаційної моделі виробу зазначений ланцюг складається з десятків і сотень ділянок інтегрованої системи створення літаків.

На даний час роботи із забезпечення технологічності та розрахунків точності складальних ланцюгів виконуються на етапах конструкторсько-технологічних розробок виробу в ряді випадків використанням евристичних методів, що пояснюється як складністю формалізації виконуваних процедур і, отже, математичного опису, так і необхідністю багатofакторного аналізу різнорідних конструктивних, технологічних та економічних параметрів дуже великої номенклатури деталей, вузлів, агрегатів та виробу в цілому. Крім того, евристичний метод залежно від характеру взаємозв'язку між різноманіттям і складністю проблем аналізу та розрахунку, а також низки людських факторів (суб'єктивність, кваліфікація виконавців тощо) не відповідає вимогам щодо якості, термінів і трудомісткості виконання робіт. Евристичний метод, за винятком розв'язання окремих завдань, не може бути також використаний в

автоматизованій системі. Проте теоретичні та практичні питання створення САПР-ТК-ТП найменш досліджені у всьому комплексі САПР. Тому їх теоретична розробка, способи побудови, що включають автоматизоване обчислення та оцінку показників технологічності на всіх етапах створення літаків є одними з найбільш важливих проблем, що забезпечують зв'язок між конструкцією, технологією та виробництвом, яка визначає якісні та техніко-економічні показники як конструкції, так і серійного виробництва.

Зараз немає єдиної теорії прямого синтезу складних технічних систем, подібних до літака, тому їх проектування здійснюється методом послідовних наближень у багатокроковому ітераційному процесі, що здійснюється в послідовності «гіпотеза – модель – аналіз – прийняття рішення за результатами оптимізації». Зазначені особливості процесу проектування покладено в основу запропонованого варіанта побудови алгоритму ескізного проектування складального автоматизованого виробництва за параметрами заданої точності. Алгоритм має чотирирівневу ієрархічну структуру з раціональним розподілом функцій між людиною-оператором та ЕОМ.

На першому рівні на основі аналізу вимог до літака, досвіду проектувальника, його інтуїції та уяви здійснюється вибір опорного рішення та його масштабування за допомогою статистичних залежностей між конструктивно-технологічними характеристиками і параметрами технологічної моделі складання (далі – ТМС). Таким чином, структурна технологічна схема складання виробу охоплює всі розмірні та конструктивні ознаки деталей і підзбірок, а також технологічні утворення у вигляді технологічно закінчених вузлів, панелей, секцій, відсіків тощо. Структурна схема складу виробу може бути зображена графічно та характеризує принципову можливість розчленування літака на самостійні у конструктивно-технологічному відношенні складові частини (далі – СЧ), що входять до складу схем складального виробництва, які виділяються як самостійні за умови незалежності їх конструктивно-технологічного існування і не припускають взаємопов'язаної послідовності нашарування СЧ у процесі складання, а також утворення при цьому закінчених складальних одиниць (далі – Скл.Од.), включаючи всі можливі складально-монтажні роботи (далі – СМР). Високу ефективність таких методів і способів складання підтверджує практика виготовлення літака А380 компанії Airbus, коли на остаточне складання у м. Тулуза (Франція) повністю закінчені за складальними операціями центроплан, консолі крила, секції фюзеляжу, киль, стабілізатор тощо із семи країн виробників.

Розподіл процесів завдання геометрії та точності виконання контуру

елементів Скл.Од. знижує ефективність використання автоматизованих систем проєктування та застосування дисплейного обладнання. Тією чи іншою мірою ці недоліки є у багатьох САПР, що використовуються в авіабудуванні, і ця проблема комплексно вирішується в умовах безплатового методу ув'язування.

Таким чином, якщо ми впорядкованим чином перенесемо без істотних змін і доопрацювань геометричну особливість оброблюваної деталі в запис програми, що є в електронній моделі, то на цій підставі ЕОМ зможе відтворити повний геометричний образ поверхонь. При цьому відпадає необхідність запам'ятовування складу та порядку вирішення геометричних задач по паперовому кресленню виробу, аналізуючи характер можливих рухів елементів спроектованих конструкцій.

При необхідності аналізу просторового взаємозв'язку елементів конструкції в напрямках різних осей координат і представлення моделі складального простору у вигляді графа сполучення цих елементів можна розкласти на суграфи, ребра яких відповідають сполученням, що породжують механічні зв'язки і сполучення в напрямку даних осей координат.

Будь-якому конкретному контуру сполучення  $a_i$  з  $b_i$  відповідає певний вид рівняння  $A = F_{(i,j)}$ , що дозволяє класифікувати сполучення елементів конструкції залежно від характеру просторового взаємозв'язку. Якщо рівняння можливих переміщень сполучених тіл містить тільки поступальні можливі переміщення то клас рухливості буде поступальним, якщо тільки обертальні – клас рухливості буде обертальним, якщо рівняння містить і поступальні та обертальні переміщення, то клас рухливості буде складовим. Якщо рівняння можливих переміщень сполучених елементів може бути записано у вигляді сукупності можливих переміщень, пов'язаних тільки диз'юнкцією, то таке рівняння буде відноситися до диз'юнктивного класу рухливості, і позначається  $a_i \vee b_i$ . Більша частина сполучень елементів планера літака один з одним і з елементами складальної оснастки відноситься саме до диз'юнктивних класів рухливості.

ТП складання елементів конструкції планера літака пов'язаний, переважно, з отриманням геометричних функціональних контурів. У процесі складання конструктивного контуру  $F^*$  його ланки утворюють пов'язану систему тіл, у якій точність положення будь-якої ланки  $i$ , отже, точність положення його поверхонь, що входять у функціональний контур  $F1$ , залежить від інших ланок. Ця залежність є розмірним зв'язком ланок контуру  $F^*$ . Принципове значення має те, що розмірні зв'язки між самими елементами виробу є конструктивними, а між елементами виробу, технологічної оснастки,

інструменту та обладнання – технологічними.

При такому підході розмірні зв'язки описуються розмірними ланцюгами або графом розмірів, вершинами якого є поверхні, лінії та точки, що з'єднуються розмірами у вигляді ребер (дуг), граф. Простий розмірний ланцюг відповідає простому циклу у графі розмірів. Пов'язаний розмірний ланцюг відповідає такому графу структури з ув'язкою розмірів, який містить не менше двох простих циклів. Кожному простому циклу відповідає алгебраїчне рівняння простого розмірного ланцюга, а число таких рівнянь при складній структурі розмірних зв'язків дорівнює числу простих циклів у графі подання розмірів.

Таким чином, у системі, що збирається,  $A$  із умовно твердих тіл безліч  $L^*$  ребер графа розмірів  $L = (L^*, L^*$  складається з підмножини власних розмірів елементів  $a_i \in m$ , які з'єднують поверхні, лінії і точки цих елементів, і підмножини розмірів сполучень, що з'єднують поверхні різних елементів  $m$ ,  $b_i \in m$ . У фізичному сенсі розміри сполучень є поданням конструктивних полів допусків на розміри. Основним показником геометричного, за ступеня якості складання функціонального контуру, є його точність. Відповідно до цього приймаємо, що точність контуру  $F(\Delta t)$  забезпечена, якщо для кожного параметра множини  $m$  цього контуру виконано умова  $F(\Delta t) \leq [F(\Delta t)]$ .

Поряд з іншими факторами, на похибки параметра  $m$  впливають деформації елемента конструкції під дією навантажень, неминучих при складанні. Величина поля розсіювання деформаційних похибок залежить від абсолютної жорсткості елемента конструкції, а також від величини та характеру застосування навантажень. Однак для оцінки впливу деформаційних похибок на якість складання важлива не тільки абсолютна величина, а й співвідношення її з полем допуску, яке становить частину поля допуску  $(\Delta t)$ , призначену для покриття деформаційних похибок. Тому однією з найважливіших властивостей реального елемента конструкції є його відносна жорсткість при складанні за параметром  $G(h)$ , що характеризується коефіцієнтом відносної жорсткості, де  $h$  – деформація.

Елемент конструкції буде відносно жорстким за параметром при  $G(h) < 1$ . При складанні виробу з елементів малої жорсткості необхідно створювати строго певне силове поле для забезпечення точності форми геометричних контурів. Такі умови можуть бути створені шляхом базування та фіксації елементів малої жорсткості на досить жорсткі елементи виробу або у спеціальному складальному пристрої.

Для кожного агрегату, що надходить на складання, відомий ТП, що включає відомості про час і стан технологічного маршруту в заданій точці.

Координати точок на площині відомі. Позначимо  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij})$  – множина точок технологічного маршруту  $i$ -ого вузла, де кожна точка  $r_{ij} = r_{ij}(x_1, x_2, x_3, t)$  відповідає розрахунковій точці;  $x_1, x_2$  – координати точки технологічного маршруту у горизонтальній площині;  $x_3$  – до ордината у вертикальній площині даної точки  $i$ -ого агрегату;  $t$  – час оброблення розрахункової точки. Ділянкою заданої траєкторії складання агрегату є відрізок між точками  $r_{ij}$  і  $r_{ij+1}$ . Далі для спрощення викладу будемо назвати його ділянкою технологічного маршруту вузла. Положення  $i$ -ого вузла в просторі  $E$  в  $k$ -й момент часу характеризується точкою  $f_{ik}(x_{1k}, x_{2k}, x_{3k}, t_k)$ , утворений парою  $S_0 = \langle S_{0 \text{ вх}}, S_{0 \text{ вих}} \rangle$  такий, що встановлено відповідність між  $S_{0 \text{ вх}}$  та деякою точкою  $f_{\text{вх}}$ , виробничого простору з координатами  $f_{\text{вх}} = (\min(x_1), \min(x_2), \min(x_3))$  і між  $S_{0 \text{ вих}}$  і  $f_{\text{вих}} = (\max(x_1), \max(x_2), \max(x_3))$ , де  $\min(\dots)$ ,  $\max(\dots)$  – відповідно найменше та найбільше із значень координат точок даної ділянки складання в  $E$ .

Будь-якій точці  $f_{ik}(x_{1k}, x_{2k}, x_{3k}, t_k)$ , однозначно відповідає деяка точка  $s$  в опорній базі подій в екземплярі  $M_{(Q)}$  (у різних його інтерпретаціях). З урахуванням зроблених допущень про характер технологічного маршруту поданням складання  $i$ -ого вузла  $R_i$  є послідовність мультивекторів  $S(A_i) = (S^{\alpha\beta\nu(p)} | (p) \in (P_i)) \Leftrightarrow R_i$ , в якій вихід попереднього мультивектора збігається з входом наступного  $(P_i) \in (P)$  – множина індексів, виділених для мультивекторів складання  $i$ -го вузла. Для кожного мультивектора цієї послідовності виконується  $S^{\alpha\beta\nu(p)} \Leftrightarrow r_{ij} \in R_i$ , в силу якого  $S^{\alpha\beta\nu(p)}$  є мультивектор пари подій входу на ділянку заданої траєкторії складання та виходу з нього. Тоді з аксіоми про фізичну інтерпретацію базисів подій у будь-який момент часу  $t_k$  шляхом лінійних перетворень можна визначити координати точки  $s$  формального подання агрегату у всіх інтерпретаціях опорного базису, що відповідає рівнянням руху вузла по ділянці від  $r_{ij}$  до  $r_{ij+1}$ :

$$\begin{aligned} x_{1k} &= r_{ij} + dt W \sin K; \\ x_{2k} &= r_{ij} + dt W \cos K; \\ x_{3k} &= r_{ij} + dt V_y, \end{aligned} \tag{1.1}$$

де  $W$ ,  $V_y$ ,  $K$  – параметри руху агрегату – колійна швидкість, вертикальна швидкість, колійний кут ділянки технологічного маршруту.

Відповідно

$$dt = t_k - t(r_{ij}), dt \Leftrightarrow \rho(S^{(t)(p)}, S^{\alpha(t)(0)}). \tag{1.2}$$



Представимо ділянку мультивектора  $S^{\alpha\beta\gamma(0)}$ , причому

$$\rho(S^{\alpha(1)(v)(0)}, S^{\alpha(2)(v)(0)}) = 1 \Leftrightarrow E\rho^{(v)}. \quad (1.3)$$

Якщо відомі координати розташування агрегату, як точки  $s^{\alpha(t)(0)}$  в опорному базисі, то можна визначити координати вектору  $X = (x_1, x_2)^T$  – координати точки  $f_{ij}$  у виробничому просторі.

$$x = dX + BX_M, \quad (1.4)$$

де  $dX = (dx_1, dx_2)^T$  – вектор прирощень по осям координат ТІ ділянки маршруту;

$B$  – матриця переходу з окремої системи координат ділянки технологічного маршруту до системи координат виробничої зони, що визначається наступним чином:

$$B = \begin{pmatrix} \sin(K) & \cos(180 - K) \\ -\cos(180 - K) & \sin(K) \end{pmatrix}, \quad (1.5)$$

$$X_M = \left( \lambda_2^{(v)} E\rho^{(v)} \Big|_{(v) \in \{x, y\}} \right)^T, \quad (1.6)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – координати точки  $s$  в опорному базису, причому  $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$  і  $\lambda_1 + \lambda_2 \geq 1$ .

Такий підхід дозволяє використовувати інваріантні способи розрахунку параметрів технологічних ланцюгів, розробки оптимальних програм функціонування ТП і подання в локальному базисі  $j$ -ої ділянки маршруту  $i$ -го вузла або окремої деталі як мультивектора подій або безлічі мультивекторів в межах конфігурації.

Перевагою введеної інтерпретації протяжності технологічного маршруту є виключення додаткових перетворень при розрахунку параметрів руху об'єкта, тобто вектор швидкості  $W$  завжди спрямований вздовж опорного базису незалежно від значень лінійних і кутових переміщень базисних точок, що сполучаються, з урахуванням нормативних інтервалів між об'єктами складання.

Поля виробничих похибок кожного з розмірів у ланцюгах ув'язування двох розмірів між собою можуть бути описані такими рівняннями:

$$\delta A = \sum_{i=1}^p \delta_i + \sum_{j=1}^q \delta_j, \quad (1.7)$$

$$\delta B = \sum_{i=1}^p \delta_i + \sum_{k=1}^r \delta_k, \quad (1.8)$$

$$\delta AB = \sum_{i=1}^q \delta_j + \sum_{k=1}^r \delta_k, \quad (1.9)$$

де  $\delta A, \delta B$  – поля виробничих похибок розмірів  $A$  і  $B$  відповідно;

$\delta_{AB}$  – поле виробничої похибки ув'язування розмірів А і В;

$\delta_i, \delta_j, \delta_k$  – поля виробничих похибок загальних  $i=1 \dots P$  та індивідуальних  $j$  і  $k$  до етапів.

Таким чином, поля похибок кожного розміру утворюються шляхом підсумовування погрешностей всіх загальних та індивідуальних для кожного розміру етапів.

Поля похибок загальних для обох розмірів етапів не впливають на точність ув'язування обох розмірів між собою.

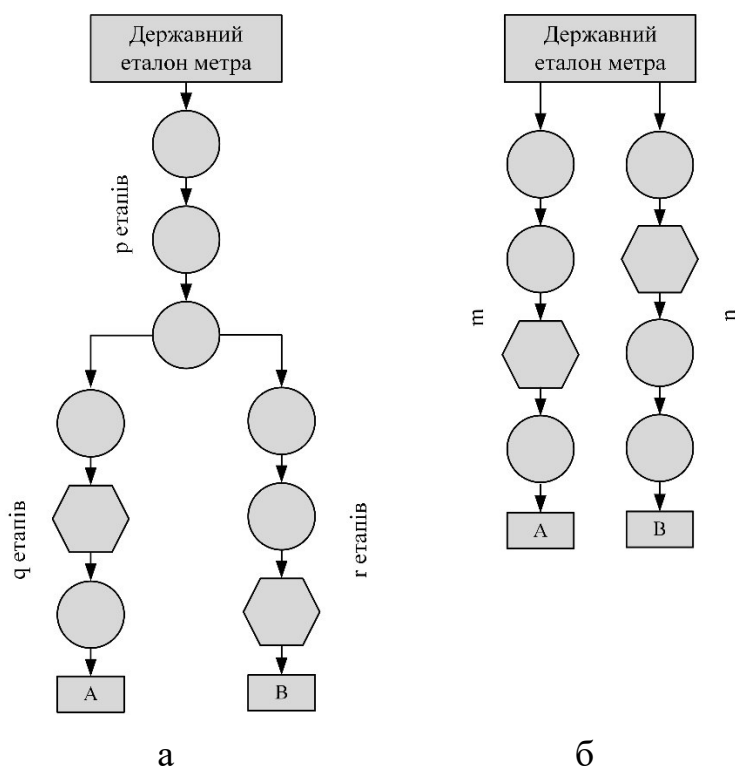
З наведених вище рівнянь можна знайти умови, за яких точність ув'язування розмірів А і В вище за точність кожного з цих розмірів:

$$\delta_{AB} \leq \delta A, \text{ якщо } \sum_{k=1}^r \delta_k \leq \sum_{i=1}^p \delta_i, \quad (1.10)$$

$$\delta_{AB} \leq \delta B, \text{ якщо } \sum_{j=1}^q \delta_j \leq \sum_{j=1}^p \delta_j. \quad (1.11)$$

Таким чином, для того щоб забезпечити високу точність ув'язування розмірів, необхідно всі етапи, що дають великі похибки в кожній з індивідуальних гілок, перенести в загальні для обох розмірів етапи. У цьому випадку похибка ув'язування буде меншою від похибки кожного з розмірів.

Відтворення розмірів супроводжується обробкою поверхонь, що утворюють задану форму виробу. Операції перенесення форми на рисунку 1.5 показані шестикутниками, а розмірів кружками.



а – зв'язане створення; б – незалежне створення

Рисунок 1.5 – Схема принципів створення розмірів і форм

Основна перевага розглянутого принципу полягає в тому, що він дозволяє забезпечити взаємозамінність виробів малої жорсткості, складної форми і великих габаритних розмірів. Саме принцип пов'язаного утворення форм і розмірів є теоретичною основою плазово-шаблонного методу ув'язування заготівельної та складальної оснасток, що застосовується в літакобудуванні.

Ув'язування на основі принципу незалежного утворення розмірів і форм виробів (див. рис. 1.5, б) не містить загальних етапів перенесення кожного з розмірів. У цьому випадку перенесення розмірів А і В здійснюється незалежно один від одного при різному у загальному випадку числі індивідуальних етапів ( $m \neq n$ ) і поле похибок ув'язування розмірів А і В:

$$\delta_{AB} = \sum_{j=1}^m \delta_j + \sum_{k=1}^n \delta_k, \quad (1.12)$$

де  $\delta_j, \delta_k$  – поля виробничих похибок  $j$ -го і  $k$ -го етапів перенесення розмірів А і В.

Для ув'язування геометричних параметрів СЧ літаків застосовуються принципово різні види першоджерел ув'язування:

– креслення, при застосуванні якого ув'язування геометричних параметрів забезпечується на основі стандартної системи допусків і посадок. Це першоджерело ув'язування застосовується при ув'язуванні геометричних параметрів жорстких СЧ літаків, утворених елементами простої геометричної форми;

– плаз, при застосуванні якого ув'язування геометричних параметрів проводиться на основі графічних побудов на площині. До цього першоджерела ув'язування відносяться також шаблони контрольно-контурні (далі – ШКК) і відбитки контрольні (далі – ВК), що виконують функції конструктивних плазів;

– еталон, при застосуванні якого ув'язування геометричних параметрів забезпечується на основі контактного копіювання поверхні еталона або його окремих частин;

– програма, при застосуванні якої ув'язування геометричних параметрів забезпечується на основі розрахунку математичної частки поверхні та створення системи кодів для управління обладнанням з ЧПК.

До першоджерела зв'язки не відносяться програми, записані з плазів або еталонів стандартів. У цих випадках програми виконують роль засобів ув'язування, а першоджерелами ув'язування є плази або еталони.

Терміни, визначення та загальні правила забезпечення технологічності конструкції та система оціночних показників визначені та деталізовані для етапів конструювання та технологічної підготовки виробництва галузевої техніки [3–5]. Для САПР ТК вони відповідають пред'являєм вимогам. У практичному

відпрацюванні технологічності при використанні обчислювальної техніки функції користувача зазнають істотних змін.

САПР ТК має складну багаторівневу структуру і побудована за блочним принципом. Така побудова дозволила провести паралельне розроблення математичного апарату, бази даних та програмного забезпечення для різних етапів конструктивно-технологічного відпрацювання виробів. Крім того, блоковий принцип побудови системи дозволив використати багаторічний досвід промисловості в забезпеченні та оцінці технологічності евристичним методом.

Основою побудови САПР ТК стала формалізація процесу конструктивно-технологічного проектування, яка включає три типи описів: 1) морфологічний, 2) функціональний та 3) історичний. Проте процес формалізації в технології надзвичайно складний і тому досі розроблений слабо. Є лише окремі принципи формалізації та фрагменти формалізованої технологічної мови.

Процес проектування технологічної конструкції літака має ітеративну структуру:

- визначення основних конструктивних параметрів деталі або Скл.Од.;
- автоматизований вибір технологічної схеми виготовлення із системою оціночних показників технологічності;
- розроблення відповідної конструкції; оцінка технологічності, і при незадоволеному рішенні повторення етапів з метою оптимізації конструкції на відповідність базовим показникам технологічності.

В основу обчислювального процесу оцінки технологічності конструкції літака було покладено принцип моделювання конструктивно-технологічних рішень на базі інформації: за технічними та конструктивними характеристиками виробів аналогічного цільового призначення, що знаходяться у виробництві або експлуатації, за безліччю можливих варіантів ТП їх виготовлення та техніко-економічними показниками. Основним завданням було встановлення взаємозв'язків між конструктивно-технологічними рішеннями та кількісними моделями показників технологічності. Методологічною основою формування оптимальних рішень є системний підхід. Попередньо було проведено аналіз конструкції ряду виробів, способів виготовлення та техніко-економічних показників виробництва з позицій системного підходу. Ці дослідження дозволили розглядати виріб і процес його виготовлення як єдиний системний об'єкт з множинним характером ознак:

- функціональних властивостей виробу, що визначають його цільове призначення та конструктивну досконалість;
- функціональних властивостей технологічної системи, що описують

процеси перетворення вихідних заготовок на деталі та Скл.Од.;

– організаційно-технічні показники виробництва, що визначають вартісні характеристики та показники технологічності.

Декомпозиція дозволила подати таку систему у вигляді ієрархічної структури та вивчити зв'язки між елементами конструкції виробу та елементами ТП. Проведені дослідження дозволили встановити найбільш доцільні рівні абстрагування складної системи для кожної стадії проектування виробу. При дослідженні такої складної системи, якою є САПР ТК, було проаналізовано такі рівні абстрактного опису: символічний (лінгвістичний); теоретико-множинний; абстрактно-алгебраїчний; топологічний; логіко-математичний, теоретико-інформаційний; динамічний; евристичний. Проведений аналіз показав, що найбільш загальним описом та вихідним поняттям у теорії систем є уявлення складної системи САПР ТК у теоретико-множинних термінах. На цьому рівні абстрагування складна система визначається як відношення мовою теорії множин, у термінах її властивостей і взаємозв'язків між ними.

Усю сукупність характеристик виробів, що належать до однієї групи, можна узагальнити у вигляді матриць спостереження:

$$X_{(N \times M)} = \begin{pmatrix} x_{11} & & x_{1M} \\ & x_{ij} & \\ x_{N1} & & x_{NM} \end{pmatrix} \cdot Y_{(N \times 1)} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_i \\ y_N \end{pmatrix}, \quad (1.13)$$

де  $X_{(N \times M)}$  – матриця значень конструктивно технологічних факторів виділеної групи;

$Y_{(N \times 1)}$  – вектор значень одного з показників технологічності цієї групи;

$i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$  – елементи множини;

$N$  – кількість виробів у цій групі;

$M$  – кількість визначальних факторів.

Перетворення значень  $X$  і  $Y$  здійснюється параметричною функцією  $j(B, X)$  з вектором невідомих параметрів  $B$ . Математичною моделлю процесу перетворення  $X \rightarrow Y$  називаємо залежність виду  $Y = j(B, X)$ , де  $B$  – оцінка невідомого вектору  $B$ . Відповідно до  $X \rightarrow Y$  не виявлені внутрішні зв'язки, а лише відомі значення входу  $-X$  і виходу  $-Y$ . У цьому випадку найбільш зручною математичною моделлю є рівняння множинної регресії, представленої у вигляді

$$Y = XB + E. \quad (1.14)$$

Невипадковість змінних  $X_{ij}$  в моделі розуміється в тому сенсі, що при багаторазовому відтворенні (гіпотетичному) однієї і тієї ж сукупності характеристик  $i$ -го виробу  $(x_{i1}^q, x_{i2}^q \dots x_{ik}^q; q = \overline{1, k})$  ряд випадкових значень

$(y_i^1 \dots y_i^k)$  є результат дії тільки випадкових значень регресійної помилки  $(e(1), \dots, e(k))$ , де  $k$  – кількість відтворень.

Структура регресійної моделі задається або в адитивній формі:

$$y = b_0 + \sum_j^M b_j \cdot x_j + \sum_{jq}^M b_{jq} \cdot x_j \cdot x_q = \varphi(B, X), \quad (1.15)$$

або в мультиплікативній формі:

$$y = b_0 \prod_i^M x_i^{b_i} = \varphi(B, X). \quad (1.16)$$

При побудові регресійних залежностей на базі вихідної інформації було забезпечено виконання наступних вимог:

- між незалежними факторами та показниками технологічності має бути причинний слідчий зв'язок;
- незалежні фактори не повинні перебувати між собою у функціональному або близькому до неї зв'язку;
- при відборі статистичних даних необхідно забезпечити незалежність результатів спостережень з досліджуваних виробів.

Після побудови регресійної залежності попередньо, в режимі діалогу, проводиться аналіз правильності зв'язку кожного фактора із показником технологічності та впливу факторів на основі порівняльної оцінки з реально існуючою причинною залежністю. Адекватність отриманого рівняння регресії результатам спостережень оцінюється F-критерієм Фішера. Модель вважається адекватною, якщо розрахункове значення F більше табличного. Для оцінки кореляційних зв'язків та рівнянь регресії використовуються такі статистичні показники:

- коефіцієнт множинної кореляції R, що відображає залежність величини показника технологічності від сукупного впливу відібраних факторів;
- коефіцієнт детермінації, що показує, яка частка варіації показника викликається варіацією включених до рівняння факторів;
- кореляційне відношення, що оцінює кореляційний зв'язок у разі множинної регресії;
- коефіцієнт парної кореляції, що показує ступінь зв'язку між показником технологічності і кожним з факторів.

Однак вибір форми аналітичного зв'язку факторів і показників технологічності в адитивній або мультиплікативній формах виконує користувач системи. Слід звернути увагу на те, що адитивна та мультиплікативна форми не завжди відповідають логічним міркуванням. При великих відхиленнях факторів від їхнього середнього значення адитивна функція може дати негативне значення

показника технологічності. Мультиплікативна форма може прийняти нульове значення показника при нульовому значенні якогось із факторів.

### **Висновки по розділу 1**

1. Сформульовано основні принципи системи безплазової підготовки виробництва.

2. Розроблено схема інформаційних потоків при безплазовій підготовці виробництва.

3. Запропоновано алгоритм створення аналітичного еталону повного визначення вертикального оперення легкого літака.

4. Надано принципи використання CALS-стандартів.

5. Сформульовано пріоритетні напрямки впровадження безплазового метода виробництва авіаційної техніки.

6 Основні принципи створення САПР ТК особливо ефективні на етапі ескізного проєктування в діалоговій інформаційно-розрахунковій системі забезпечення та оцінки технологічності.

7. Загальносистемне програмне забезпечення реалізує управління процесом обчислень; введення, виведення та обробку інформації; зберігання, пошук аналіз та модифікацію даних; вирішення загальних математичних завдань; взаємозв'язок з користувачем у процесі проєктування; захист цілісності даних та секретність; контроль та діагностику.

8. Розрахунок за розробленими моделями дає цілком задовільну точність для отримання показників технологічності на стадії ескізного проєкту і дозволяє конструктору прийняти раціональне рішення при проєктуванні нової деталі або складальної одиниці.

**РОЗДІЛ 2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО  
ЦИКЛУ ЛЕГКИХ ЛІТАКІВ У СИСТЕМИ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ**



## **2.1 Підходи до розробки моделей життєвого циклу вітчизняних легких літаків**

Життєвий цикл авіаційної техніки – це комплекс процесів, що формується з розробкою технічного завдання (далі – ТЗ) до його експлуатації та утилізації. Одним з основних завдань при розробленні та виробництві АТ полягає у виборі оптимальних конструкторських та технологічних рішень з метою мінімізації витрат на всій тривалості ЖЦВ. Такий підхід дозволяє створити конкурентоспроможні зразки АТ, тому що враховує як витрати на розробку і виробництво виробів, так й експлуатаційні витрати, які найчастіше грають визначальну роль для покупця.

### **Проблема створення конкурентоспроможної авіаційної техніки та шляхів її рішення**

Сучасний розвиток авіаційної галузі передбачає лише інноваційний розвиток. У визначенні інновації не можна обмежуватися лише оцінкою змін характеру виробництва, тому що кінцевою метою більшості нововведень є підвищення конкурентоспроможності, що може бути досягнуто підвищенням якості об'єкта виробництва, і не тільки процесів його створення, які, у свою чергу, окрім процесів виробництва включають і проектування, і технологічну підготовку, та процесів його експлуатації, технічного обслуговування та ремонту і навіть зняття з експлуатації та утилізація.

Інновації можуть класифікуватися за різними класифікаційними ознаками та характеристиками. У різній спеціальній літературі автори виділяють до десяти класифікаційних ознак, серед яких найважливішою ознакою інновацій є причини виникнення.

Під функціонально-вартісним аналізом розуміється метод системного дослідження функцій об'єкта, розрахунок спрямований на мінімізацію витрат за етапами проектування, виробництва та експлуатації, що забезпечують конкурентоспроможність, тобто спрямований на оптимізацію співвідношення витрат (або споживчої вартості) та якості виготовлення. Значним для подальшого розвитку методології функціонально-вартісного аналізу є зауваження про те, що виріб, досконалий з точки зору конструкції і витрат на виробництво сьогодні, завтра матиме резерв зі зниження собівартості.

За своїм внутрішнім змістом функціонально-вартісний аналіз – це комплексно-цільова програма, що поєднує три основні складові: техніко-економічний аналіз, організаційно-технічні заходи [15] та наукову методологію пошуку нових рішень, спрямовану на виявлення та використання резервів

удосконалення будь-яких об'єктів.

Основними теоретичними джерелами функціонально-вартісного аналізу є теорія систем та методи системного аналізу, а також теорія функціональної організації та методи інженерного аналізу, методи економічного аналізу (у тому числі теорії економічної ефективності) та наукові методи організації праці.

Використання цих теорій та методів знаходить відображення у відповідних принципах функціонально-вартісного аналізу:

- системний підхід є основним і полягає у розгляді об'єкта у взаємозв'язку та взаємозумовленості його споживчих властивостей, цей підхід утворює методологічну основу функціонально-вартісного аналізу;

- функціональний підхід полягає у поданні об'єкта у вигляді сукупності взаємопов'язаних функцій з певним характером як самих функцій, так і зв'язків між ними;

- принцип відповідності значимості та корисності функцій витрат на їх реалізацію є наслідком функціональної досконалості виробу як технічної системи та відображає мету функціонально-вартісного аналізу – досягнення відповідності між витратами (на реалізацію функцій) та важливістю цих функцій для виробу;

- народногосподарський підхід передбачає забезпечення необхідної якості виробу за обов'язкового врахування витрат на всіх етапах ЖЦВ;

- принцип колективної творчості передбачає використання сучасних методів активізації творчого пошуку.

Авіабудування є унікальною, найбільш наукомісткою галуззю машинобудування, що реалізує у своїй продукції новітні досягнення науково-технічного прогресу. Створюючи конструкції планера, авіоніки та двигунів, що працюють на межі теплових та міцнісних навантажень, та забезпечуючи при цьому надзвичайно жорсткі вимоги щодо безпеки, надійності та ваги, авіабудування займає лідируюче місце в галузі високих технологій, використання яких не обмежується лише авіацією. Технології, створені у галузі, є основою створення принципово нових зразків техніки у сфері енергетики й у інтересах інших галузей народного господарства.

З розвитком галузі суттєво зростає рівень конструювання авіатехніки, підвищуються вимоги до їх надійності, ресурсу, експлуатаційної технологічності, екологічних показників. Сучасна методологія створення конкурентоспроможних літаків передбачає широке використання функціонально-вартісного аналізу та експериментального відпрацювання, починаючи з доведення вузлів планера та двигуна і закінчуючи випробуваннями.

Під якістю АТ розуміється сукупність властивостей та показників, що визначають його придатність для задоволення споживачів відповідно до призначення. Якість техніки характеризується сукупністю показників [16] до яких відносяться:

- показники надійності, що характеризують безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереження машини;
- показники технологічності, що включають техніко-економічні показники, показники трудомісткості та собівартості виготовлення машини, технічні показники структури конструкції, точності та чистоти обробки, витрати матеріалу;
- показники точності та взаємозамінності;
- ергономічні показники, що включають гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психофізіологічні показники машини;
- показники технічної естетики, показники уніфікації та стандартизації, показники патентної чистоти.

Показники надійності – безвідмовність, збереження, ремонтпридатність, а також довговічність техніки. Залежно від особливостей продукції, що оцінюється, для характеристики надійності можуть використовуватися як всі зазначені показники, так і деякі з них. Для виробів АТ, що зв'язані з безпекою людей, безвідмовність може бути основним, а іноді єдиним показником надійності. Для пілотованих ЛА безвідмовність є основним показником якості.

Якість складних технічних систем закладається під час проєктування, забезпечується у виробництві, підтверджується випробуваннями та підтримується при експлуатації [17]. Забезпечення якості літаків у сучасному виробництві стадій життєвого циклу цих складних технічних об'єктів, що включає ТПВ та процеси безпосереднього виготовлення деталей, вузлів та агрегатів літака. Для складних технічних систем економічна ефективність як друга складова конкурентоспроможності визначається на трьох стадіях ЖЦВ: при проєктуванні, у виробництві та в експлуатації. Загальна ефективність цих трьох стадій визначається за формулою

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{виг}} + E_{\text{екс}}, \quad (2.1)$$

де  $E_{\text{пр}}$ ,  $E_{\text{виг}}$ ,  $E_{\text{екс}}$  – економічна ефективність відповідно на стадіях проєктування, виготовлення, експлуатації.

### **Відображення функціонально-вартісного аналізу у системах управління життєвим циклом**

У визначенні місця та ролі систем функціонально-вартісного аналізу у

ЖЦВ на різних підприємствах спостерігаються суттєві відмінності. Саме поняття функціонально-вартісного аналізу згодом змінювало своє значення. У запропонованій методології його можна визначити як процес комплексної оцінки та всебічного аналізу функцій та параметрів виробу на всіх стадіях життєвого циклу. При цьому процес функціонально-вартісного аналізу починається на першій стадії «наукові дослідження» і поширюється на інші стадії у повному обсязі електронного макета ще до того, як з'явиться перший матеріальний зразок виробу. Це дозволяє всі протиріччя, що стосуються конструктивно-технологічних, експлуатаційних та вартісних властивостей виробу, вирішити ще в інформаційному шарі.

Більшість дослідників відзначали складність, а в деяких випадках і неможливість формалізації досвіду конструювання, а особливо технологічного проектування, який не завжди представлений у формі суворих залежностей та закономірностей.

Формалізація простору проектування для функціонально-вартісного аналізу АТ на виробничих стадіях ЖЦВ забезпечує суворе та однозначне, логічно несуперечливе уявлення явищ та їх станів, а також методів та засобів реалізації станів з урахуванням експериментальних значень цільових функцій та граничних умов [18].

Запропонована методологія має забезпечувати правильність інтерпретації даних, які формуються різними автоматизованими системами. Основою забезпечення конкурентоспроможності є раціональне збалансоване співвідношення варіантів проектних рішень усім стадіях ЖЦВ.

У роботі [17] пропонують наступний підхід. При цьому як критерій оптимальності моделі необхідно використовувати квадратичний критерій, який є сумою квадратів відхилень між реальним і модельним значеннями в цільовій функції [18].

Процес створення спеціальної синтезованої моделі передбачає послідовне виконання алгоритму, що складається з наступних етапів:

- 1) здійснення відбору певних інформаційних ознак;
- 2) вибір найкращих екземплярів даних;
- 3) пошук структури моделі яка відповідає всім вимогам оптимальності у структурах обраного типу, тобто проведення робіт із структурного синтезу;
- 4) параметричний синтез моделі із призначенням певних технологічних вимог;
- 5) оптимізація створеної моделі.

У моделі необхідно постаратися закласти відбір певних інформативних

ознак необхідних моделі вартості ЖЦВ починаючи з дослідно-конструкторських робіт на період, що включає етап розроблення ескізного проєкту і закінчуючи завершенням етапу проведення доробок за результатами проведених державних випробувань літака.

При створенні технічних систем різного призначення, конкурентоспроможність яких оцінюється методами функціонально-вартісного аналізу, задачі, що вирішуються, реалізуються сукупністю проєктних процедур і операцій, які поділяються на три великі групи:

- 1) пошук нових технічних рішень;
- 2) оцінка якості та техніко-економічних характеристик варіантів рішень;
- 3) вибір раціональних, а кращому разі – оптимального рішення.

Важливість і складність цих завдань різна і залежить від типів і складності виробів, що створюються. Для простих виробів оцінка якості та економічної ефективності не викликає значних складнощів та може бути проведена, наприклад, методом експертних оцінок. При обмеженому обсязі інформації, яка доступна на ранніх стадіях та етапах створення виробу, більшість раціональних або оптимальних, у певному сенсі, рішень приймається на основі інтуїції та досвіду. Зі зростанням обсягу інформації про виріб, виробничу систему та процеси виробництва все більшу кількість рішень можна знаходити методами математичного моделювання за допомогою певних моделей, алгоритмів їх обробки та техніко-економічних розрахунків.

Автоматизована підсистема функціонально-вартісного аналізу має бути реалізована як організаційно-технічний комплекс, що складається із взаємозалежних та взаємодіючих компонентів для автоматизованого технологічного проєктування об'єктів та їх СЧ на основі застосування математичних моделей, автоматизованих проєктних процедур та засобів обчислювальної техніки.

Умови, в яких приймаються рішення щодо управління програмою та виробництвом, класифікуються за рівнем точності та визначеності відповідно до таких основних категорій: визначеність, ризик та невизначеність.

Визначеність означає, що значущі параметри об'єктів та процесів виробництва, наприклад витрати, виробничі потужності та потреби – величини відомі. Ризик означає, що деякі параметри мають імовірні значення. Невизначеність означає, що неможливо точно оцінити ймовірність майбутніх подій.

Інноваційна сфера і процеси, що відбуваються в ній, пов'язані зі створенням, освоєнням і поширенням інновацій. Творці інновації під час

виконання інноваційних процесів, як і за функціонально-вартісному аналізі керуються такими критеріями, як ЖЦВ та економічна ефективність. Їхня стратегія спрямована на те, щоб перевершити конкурентів, створивши нововведення, яке буде визнано унікальним у певній галузі. Для конкурентоспроможності інновації однаково важливими є три основні властивості:

- 1) науково-технічна новизна та функціональна досконалість;
- 2) виробнича реалізованість;
- 3) проєктна, виробнича та експлуатаційна технологічність.

Відсутність будь-якого з них негативно позначається на інноваційному процесі. Комерційний аспект визначає інновацію як економічну необхідність, усвідомлену через потреби ринку, що визначають задані показники якості виробів. Слід звернути увагу на два моменти: «матеріалізацію» інновації, винаходів та розробок у нові технічно досконалі види промислової продукції, засоби та предмети праці, технології та організації виробництва та «комерціалізацію», що перетворює їх на джерело доходу.

### **Оцінка техніко-економічної ефективності конструктивно-технологічних рішень**

Сучасні дослідно-конструкторські роботи в авіабудуванні мають такі особливості:

1. Процеси створення дослідних зразків виробів мають підвищену складність, яка визначається новизною і складністю завдань, для вирішення яких виробу призначені. Необхідність збільшення ефективності координації взаємодіючих підсистем призвела до їх об'єднання.

На даний час відбуваються зміни у складі учасників кожної великої розробки: у ній беруть участь десятки та сотні підприємств, тому управління розробкою на всіх її етапах силами одного міністерства стало практично неможливим, що призводить до необхідності формування віртуальних підприємств. Змінився професійний, якісний та кількісний склад учасників розробки: замість десятків професій та сотень фахівців з'явилися сотні нових професій та тисячі нових спеціалістів.

2. Тривалість однієї розробки (включаючи науково-дослідні роботи) збільшилася в окремих випадках до 12 років, а обстановка, що швидко змінюється, як правило, вимагає якнайшвидшого її завершення, тому скорочення тривалості набуло першорядної важливості. При створенні дослідного зразка критерій «директивний термін», як правило, домінує над критерієм «витрати»

(природно, якщо забезпечується досягнення заданих тактико-технічних характеристик об'єкта, що розробляється, або комплексу).

3. Новизна та невизначеність дослідно-конструкторських робіт (далі – ДКР). Авіаційним ДКР властива значною мірою унікальність, принципова новизна і неповторність, тому загальний рівень усіх невизначеностей, з якими доводиться мати справу розробникам та керівникам АП, незмірно зріс. У ході розробки, як правило, виникає багато непередбачених труднощів, чимала їх частина може бути заздалегідь оцінена з достатньою точністю. Нерідко під час розробки змінюються загальні вимоги до системи, її склад, конструкція окремих частин тощо.

4. Вартість сучасних розробок багаторазово зросла порівняно з вартістю у відносно недавньому минулому (10–15 років), а факт перевитрату запланованих коштів на розробку нерідко перетворюється на серйозну проблему необхідності їх розшуку. Це зумовлено тим, що в сучасній розробці беруть участь тисячі різних фахівців, застосовуються дорогі унікальні наземні та лабораторії, що літають, стенди, обладнання, вимірювальні прилади.

5. Досвідчене виробництво – це частина процесу створення виробу. Як відомо, розрізняються три основних типи виробництва: дослідне, серійне та масове, кожен з яких дає узагальнюючу характеристику особливостей його умов.

### **Зовнішні та внутрішні умови системи життєвого циклу виробу**

Підхід Європейського космічного агентства, викладений у [19], передбачає поділ життєвого циклу космічного проєкту на 7 фаз. Чи не охоплює етап концептуальних досліджень і не виділяє значну стадію запуску. Підхід Канадського космічного агентства [20] передбачає структуру життєвого циклу з п'яти етапів, при цьому недостатньо деталізованим залишається період життєвого циклу після виготовлення космічного апарату.

В роботі [21] розглядають життєвий цикл стосовно космічної техніки у світлі її серійного виробництва. Запропонована послідовність фаз життєвого циклу загалом відповідає прийнятій практиці, заснованої на системах стандартів, таких як ЕСКД, ЕСТПВ та ін.

Останнім часом у вітчизняних авіаційних колах прийшло розуміння, що життєвий цикл АТ хоч і включає досить велику кількість процесів і учасників, проте, основна частина ЖЦВ авіаційної техніки припадає на процес експлуатації. Саме цьому етапі життєвого циклу відбувається основний обмін інформацією між учасниками процесу технічної експлуатації АТ. Велика різноманітність процесів та суб'єктів життєвого циклу накладає певні проблеми інформаційного

обміну між його учасниками.

В Україні для реалізації взаємодії в рамках CALS-технологій створюється інтегроване інформаційне середовище (далі – ІС), яке спрямоване на забезпечення безперервного обміну даними між замовником, виробниками та споживачами, а також на підвищення ефективності управління, скорочення паперового документообігу та витрат на його ведення.

Таким чином, концепція CALS заснована на використанні єдиного інформаційного простору та забезпеченні одноманітних способів управління процесами та взаємодії учасників ЖЦВ відповідно до вимогами міжнародних стандартів, що регламентують правила управління, взаємодії та обміну даними. При цьому ІС є розподіленим сховищем даних, що існує в мережній комп'ютерній системі, що охоплює всі служби та підрозділи підприємства, які пов'язані з процесами ЖЦВ. В ІС діє єдина система правил подання, зберігання та обміну інформацією, відповідно до яких протікають інформаційні процеси, що супроводжують та підтримують ЖЦВ на всіх його етапах. Головний принцип CALS-технологій: інформація, що одного разу виникла на якомусь етапі життєвого циклу, зберігається в ІС і стає доступною всім учасникам цього та інших етапів (відповідно до наявних у них прав користування цією інформацією) [22, 23].

Розглянемо вимоги до системи життєвого циклу у наступній сегментації:

1. Бізнес-вимоги (Business Requirements) визначають високорівневі цілі організації або клієнта (споживача) – замовника системи, що розробляється. Бізнес-вимоги відповідають на запитання «навіщо?», «чому?», «з якою метою?» тощо.

2. Користувацькі вимоги (User Requirements) описують цілі/завдання користувачів системи, які повинні виконуватись користувачами за її допомогою. Користувальницькі вимоги відповідають на запитання «хто?» і «що?».

3. Функціональні вимоги (Functional requirements) визначають функціональність системи.

В системі життєвого циклу АТ має бути реалізовано головне правило – інформація, що одного разу виникла на якомусь етапі життєвого циклу, зберігається і стає доступною всім учасникам відповідно до наявних у них прав доступу до інформації [23]. Інформація повинна зберігатися централізовано та мати обмеження щодо доступу, зміни та видалення. Це дозволяє уникнути дублювання, перекодування, несанкціонованої зміни даних, уникнути помилок та неточностей.

Таким чином, концепція системи життєвого циклу повинна бути заснована



на використанні єдиного інформаційного простору та забезпеченні одноманітних способів управління процесами та взаємодії учасників життєвого циклу продукції відповідно до вимог міжнародних та українських стандартів, що регламентують правила управління, взаємодії та обміну даними. При цьому основу системи життєвого циклу є сховищем даних, що існує в мережній комп'ютерній системі, що охоплює всі служби та підрозділи підприємства, пов'язані з процесами ЖЦВ. Правила подання, зберігання та обміну інформацією, відповідно до яких протікають інформаційні процеси, що супроводжують та підтримують систему життєвого циклу, повинні бути єдині. Це дозволяє уникнути також пов'язаних із цими процедурами помилок та забезпечити скорочення витрат праці, часу та фінансових ресурсів. Учасники інформаційної взаємодії можуть бути територіально віддалені один від одного і перебувати в різних містах і навіть державах, а спільно використовувана ними інформація може бути дуже різномірною.

Для складних систем, а системи життєвого циклу двигуна є такою, необхідно забезпечити нечутливість системи до відсутності (нестачі) даних.

## **2.2 Використання концепції CALS для забезпечення життєвого циклу легких літаків**

Авіаційна техніка на сьогоднішній день є найбільш наукомісткою продукцією на авіаційному ринку. З року в рік зростають і вимоги, які до неї висувуються як з точки зору безпеки та ефективності використання, надійності, експлуатаційної технологічності та ін., так і в частині інформаційного супроводу продукції, так званих CALS- технологій.

У свою чергу значний розвиток системи діагностики та неруйнівного контролю вимагає отримання більш повної інформації про попередні стани та властивості об'єкту діагностування.

Зважаючи на те, що комп'ютерні технології останнім часом все більш активно впроваджуються в процеси проєктування (3D-моделювання), створення АТ (програми з оброблення та розрахунку електронних моделей елементів ЛА), її виробництва (використання верстатів з ЧПК, використання електронних вимірювальних комплексів та ін.), виникає питання про те, як можна використовувати дану інформацію на стадії технічної експлуатації, обслуговування і ремонту (далі – ТОiP) АТ.

Важливими в цих умовах є такі аспекти, як навчання обслуговуючого персоналу методам та прийомам роботи з електронною документацією, забезпечення відповідності інформації, що надається, вимогам міжнародних та

державних стандартів, забезпечення ефективної взаємодії виробника та споживача даного виробу.

Перші поняття про концепцію CALS (Computer Aided Logistic Support – комп'ютерне забезпечення процесу постачання) з'явилися у 80-х роках минулого століття в рамках робіт зі створення механізмів удосконалення матеріально-технічного забезпечення збройних сил США. У ході виконання цих робіт було поставлено завдання скорочення витрат на організацію інформаційної взаємодії урядових установ США з приватними фірмами (при формалізації вимог до військової техніки, її замовлення, а також поставок та подальшої експлуатації).

Пізніше концепція CALS отримала іншу, більш всеосяжну, розшифровку – Continuous Acquisition and Life cycle Support (безперервні поставки та інформаційна підтримка ЖЦВ), яка зараз досить поширена. Крім того, зараз широко поширена і концепція PLM (Product Lifecycle Management – керування ЖЦВ, яка, за своєю суттю, є аналогом концепції CALS.

Для реалізації взаємодії в рамках CALS-технологій створюється інтегрована інформаційна середовище (далі – ІС), яке спрямовано на забезпечення безперервного обміну даними між замовником, виробниками та споживачами, а також на підвищення ефективності управління, скорочення паперового документообігу та витрат на його ведення.

Таким чином, концепція CALS заснована на використанні єдиної інформаційного простору та забезпечення одноманітних способів управління процесами та взаємодії учасників ЖЦВ відповідно до вимог міжнародних стандартів, що регламентують правила управління, взаємодії та обміну даними.

При цьому ІС є розподіленим сховищем даних, що існує в мережевий комп'ютерної системи і охоплює всі служби та підрозділи підприємства, які зв'язані з процесами ЖЦВ. В ІС діє єдина система правил подання, зберігання та обміну інформацією, відповідно до яких протікають інформаційні процеси, що супроводжують та підтримують ЖЦВ на всіх його етапах.

Головний принцип CALS-технологій: інформація, яка одного разу виникла на будь якому етапі ЖЦВ, зберігається в ІС і стає доступною всім учасникам цього та інших етапів (відповідно до наявних у них прав користування цією інформацією). Це дозволяє уникнути дублювання, перекодування та несанкціонованих змін даних, а також пов'язаних з цими процедурами помилок та забезпечити скорочення витрат праці, часу та фінансових ресурсів. При цьому учасники інформаційної взаємодії можуть бути територіально віддалені один від одного і перебувати в різних містах і навіть державах, а інформація, яку вони використовують, може бути дуже різномірною.

Нині у світі функціонують кілька десятків організацій із різних країн, які займаються питаннями розвитку CALS-технології. Робота різних організацій у сфері CALS координується найбільш авторитетними міжнародними організаціями, до яких входить і ISO, що займається міжнародною координацією в галузі стандартизації.

З 90-х років минулого століття по сьогодні у світі ведуться десятки проєктів з впровадження CALS-технології. До таких найбільш відомих проєктів можна віднести:

- розробку аеробуса A380 концерном Airbus;
- інтеграцію процесів розроблення та виготовлення виробів у корпораціях General Motors, Hughes Aircraft, Pratt & Whitney; Rolls Royce та ін.;
- створення космічного телескопа Hubble та ін.

Ряд проєктів із впровадження CALS-технологій ведеться й в Україні.

У різних джерелах інформації зазначаються такі основні вигоди, які отримують підприємства від впровадження CALS-технологій:

- підвищення ефективності операцій аналізу та оброблення інформації про складні вироби;

- інтеграція процесів інформаційного супроводу ЖЦВ;
- перехід від паперового документообігу до електронного.

За рахунок цього під час впровадження CALS-технологій:

- знижуються витрати та трудомісткість проєктування та освоєння виробництва нових складних виробів, а також на підготовку технічної документації (до 30...40 %);

- скорочуються терміни випуску нових складних виробів та їх подання на ринок збуту (до 75 %).

Життєвий цикл сучасних інформаційних технологій дуже короткий – щороку з'являються нові рішення в галузі засобів зберігання інформації та їх оброблення. «Консервативними» (у вигляді креслень) поки що залишаються засоби подання інформації про вироби в електронній формі, які зафіксовані у стандартах ISO 10303, частини 101, 201, 202, 301, 302.

Зміни, що вносяться до вітчизняної ЄСКД, повинні забезпечувати:

- застосування сучасних методів та засобів проєктування виробів;
- рівноправне використання електронних та паперових конструкторських документів;
- обмін конструкторською документацією без її переоформлення;
- можливість автоматизованого оброблення КД.

Слід зазначити, що кодифікація всіх документів є обов'язковою умовою

створення баз даних щодо виробів, їх специфікацій та змін.

ЖЦВ для АТ включає дослідження та визначення концепції наукомісткого виробу (ЛА або авіаційного двигуна), перевірку реалізованості проєкту (тобто здійснення планування логістичної підтримки), проєктування та виробництво, випробування, навчання персоналу, введення в експлуатацію, проведення ТОіР, модернізацію, виведення з роботи, заміну, демонтаж та утилізацію.

На даний час однією з основних проблем у застосуванні CALS-технологій на стадії експлуатації АТ є створення «електронного образу» (електронних формулярів та паспортів) ЛА, тобто інформаційного простору, яке відбивало б його реальний стан.

Основними елементами інформаційного простору будуть:

- базовий електронний посібник з технічного обслуговування;
- базовий електронний посібник з ремонту;
- електронний формуляр ЛА та авіадвигуна;
- електронні паспорти агрегатів.

Використання в процедурах підтримки ЖЦВ стандартів CALS націлено на забезпечення електронного обміну даними всередині та між підприємствами у всьому ланцюзі «Виробник – Постачальник – Експлуатант», але ситуація, що склалася на сьогоднішній час, у підприємствах авіаційної галузі та цивільної авіації показує, що в умовах наявності великого старого парку ВС активному впровадженню CALS-технологій перешкоджає колишня паперова система документації та інертність виробників у цьому питанні. Дуже часто самі експлуатанти змушені створювати електронні формуляри та паспорти ЛА, авіаційних двигунів та агрегатів.

## **Висновки по розділу 2**

1. Проведено аналіз тенденцій створення моделей життєвого циклу в наукомістких галузях, до яких відноситься авіабудування.

2. Викладено інфраструктурні вимоги під час створення системи життєвого циклу авіаційної техніки.

3. Висловлено пропозицію щодо застосування певної структури даних (специфікації) – аналогічної закордонним аналогам.

4. Запропоновано архітектуру системи життєвого циклу для авіаційної техніки у загальному вигляді, яка дозволить удосконалювати функціонально-вартісні показники.

**РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ ЛЕГКИХ  
ЛІТАКІВ**

### 3.1 Концепція підтримки процесів життєвого циклу виробництва виробів у межах інтегрованого єдиного інформаційного середовища

Однією з актуальних проблем для вітчизняної АП є ефективне з економічного погляду впровадження інформаційних систем у всьому ЖЦВ. АП виробляє складну наукомістку продукцію з тривалим життєвим циклом. Напрямок розвитку авіабудівних підприємств перебуває у прямій залежності із комплексним застосуванням результатів інноваційної діяльності [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Під впливом постійно зростаючої конкуренції на ринках АТ інновації, у тому числі й у галузі виробництва, виступають системоутворюючим фактором, що забезпечує ефективну діяльність підприємств авіаційного комплексу.

Сьогодні АП потребує впровадження інформаційних систем у всьому життєвому циклі створення продукції [7]. Спочатку планувалося провести стандартизацію форматів представлення даних, які у інформаційних системах, застосовуваних різних стадіях життєвого циклу військової авіатехніки. Головною метою цієї стандартизації було спрощення процедури розміщення замовлень на постачання виробів та запчастин. Однак незабаром з'ясувалося, що недостатньо узгодити стандарти опису виробів і процесів, а також необхідно формалізувати процедури організації проектування, виробництва та експлуатації авіатехніки, зблизити підходи державних відомств і підприємств і змусити постачальників і замовників авіатехніки говорити і думати однією мовою.

Українські авіабудівні підприємства також приділяють значну увагу прогресу в рівні ефективності створення та застосування наукомістких технологій у виробництві шляхом впровадження інформаційної підтримки життєвого циклу виробів. Підвищення ефективності від впровадження технологій виражається [8] у значному покращенні якості продукції за рахунок більш точного та повного аналізу інформації, мінімізації матеріальних та тимчасових витрат на розроблення та виготовлення продукції, суттєвому зниженні рівня витрат на експлуатацію у зв'язку з використанням функцій інтегрованої логістичної підтримки.

Для досягнення ефективного рівня взаємодії промислових автоматизованих систем необхідна розробка комплексного інформаційного простору у межах як окремих підприємств, так і об'єднання підприємств. Структурна уніфікація найменувань та переліку сутностей, атрибутів та відносин у певних предметних галузях є необхідним базисом для початку розроблення єдиного електронного опису виробів в інформаційному просторі. Це призведе до підвищення якості інноваційних розробок та значно скоротить термін виконання

науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт [9].

Основні базові принципи комплексної інформаційної підтримки полягають у наступному [10]:

1) комплексній інформаційній підтримці ЖЦВ за допомогою застосування інтегрованого інформаційного середовища, що дозволяє значно скоротити витрати на його створення;

2) стандартизації інформаційного опису за рахунок інформаційної інтеграції об'єктів керування;

3) організації безпаперової системи подання інформації, використанні електронно-цифрового підпису;

4) проведенні паралельних інженерних розробок усередині життєвого циклу, що призведе до покращення якості продукції;

5) комплексній модернізації існуючих бізнес-процесів.

Базові управлінські технології полягають в організації проектного менеджменту, управлінні ресурсами та плануванні якості, інтеграції логістичної системи підтримки, що включає організацію документального супроводу закупівель та постачання АТ, комплектуючих та запасних частин та інших матеріалів.

Інтегроване інформаційне середовище – це комплекс баз даних, у яких міститься інформація про вироби, виробниче середовище, ресурси та процеси всередині підприємства [11]. Особлива увага приділяється забезпеченню коректності, актуальності, безпеки та доступності даних тільки для тих суб'єктів виробничо-господарської діяльності, які беруть участь безпосередньо у здійсненні ЖЦВ. Інформаційна підтримка процесів ЖЦВ реалізується усім стадіях процесу виробництва. В авіабудуванні особлива увага приділяється організації виробничого процесу, а також посттехнічному обслуговуванню продукції, що випускається. Виробничим процесам в авіабудуванні притаманні значні витрати, що складаються з витрат на організацію та підтримання ефективного рівня науково-технічного забезпечення процесу виробництва, а також витрат від впровадження інноваційних технологій.

Системи автоматизації проектування успішно застосовуються в АП вже кілька десятиліть. Етап робочого проектування виробів є найбільш вивченим з погляду економічної ефективності інформаційних технологій. Тут меншою мірою проти іншими стадіями життєвого циклу актуальне прогнозування можливого ефекту, оскільки підприємствами вже накопичено значний досвід використання інформаційних технологій, що дозволяє побудувати апостеріорні оцінки економічної ефективності.

Прискорення робочого проектування та ТПВ може і не досягатися навіть за наявності дорогих програмно-апаратних засобів, якщо з процесу документообігу не виключено таких процедур, як підписання паперових креслень та технологічних карт відповідальними особами під час їх узгодження та затвердження. У майбутньому комп'ютери навряд чи повністю виключать відповідальних осіб із процесу прийняття рішень. Проте документообіг має стати повністю безпаперовим, та інформаційні технології дозволяють це реалізувати.

На етапі випробувань авіатехніки впровадження принципів та технологій інформаційної підтримки виробу дозволяє суттєво скоротити тривалість періоду випробувань та отримати необхідний обсяг випробувальних польотів з наступних причин [12]:

1. З'являється можливість ефективно організувати оперативний збір та аналіз інформації, одержуваної у польоті у реальному часі.

2. За допомогою засобів управління льотним експериментом під час польоту можна оперативно змінювати польотне завдання.

3. Зменшуються витрати на внесення коректив у конструкцію виробів з результатами випробувань, прискорюється та здешевлюється процес доведення виробів.

Українські авіабудівні підприємства можуть отримати значний економічний та виробничий ефект від застосування інформаційних технологій підтримки ЖЦВ, незважаючи на те, що це потребує суттєвих одноразових та періодичних витрат, пов'язаних з експлуатацією інформаційних систем. Тому інформаційні технології гостро потребують коректних методів прогнозування економічної ефективності. Під економічною ефективністю мається на увазі розраховане тим чи іншим чином співвідношення витрат та результатів від їх впровадження.

Досліджуючи питання ефективності інформаційних технологій, слід зазначити, що їхнє впровадження не здатне приносити позитивний економічний ефект, проте вони здатні лише надати додаткову інформацію, а також надати інструментарій необхідний для її аналізу та прийняття управлінських рішень. Інформаційні системи та економіко-математичні моделі повинні містити в собі такі елементи [13]:

- 1) інформаційні системи повинні надавати доступ всім користувачам.
- 2) інформаційні системи повинні бути забезпечені кондиційною інформацією, тобто відповідною до певних норм;
- 3) процеси прийняття управлінських рішень повинні органічно поєднатися та доповнюватися економіко-математичним моделюванням.



Комплексний аналіз ефективності інформаційних технологій проводиться за таким алгоритмом [14]:

1. Організація процедури проведення якісного аналізу нових можливостей, що надаються інформаційними технологіями, а також виявлення напрямів їх застосування з метою зростання продуктивності та ефективності роботи підприємств.

2. Організація процедури проведення кількісної оцінки наступних основних показників:

$\Delta_{\text{потенц}}$  – потенційний ефект, що теоретично отримується в умовах повного використання всіх можливостей підприємства, що досягається шляхом впровадження «ідеальних» інформаційних технологій;

$\Delta_{\text{реал}}$  – реальний ефект, розрахований на основі часу, витраченого на підготовку та обробку інформації, допустимість можливої неповноти та неточності інформації, значною мірою наближеності використання економіко-математичних моделей.

При аналізі ефективності необхідно враховувати, що справедлива наступна нерівність:  $\Delta_{\text{реал}} < \Delta_{\text{потенц}}$ . Співвідношення  $\Delta_{\text{реал}}/\Delta_{\text{потенц}}$  показує рівень бездоганності програмно-апаратних засобів та вбудованих у їх структурний склад економіко-математичних моделей і дає можливість не тільки проаналізувати необхідність у використанні інформаційних систем поточного рівня, але й задати вектор першочергового модифікування програмно-апаратних засобів та економіко-математичних моделей. Техніко-економічний ефект від впровадження інформаційних технологій у структуру вітчизняних авіаційних підприємств можна розглянути в аналізі усереднених показників основних виробничих процесів.

1. У процесі проектування скорочення часу на проектування становить близько 50 %, розробку технології виробництва – 30 %, вивчення виконання проекту – від 15 % до 40 %.

2. У процесі організації поставок комплектуючих елементів та виробів оптимізація часу пошуку інформації становить понад 90 %, неточність під час її передачі – 40 %, скорочення термінів прогнозування – 70 %, зменшення вартості отримання даних – від 15 % до 60 %.

3. У процесі дослідження скорочення виробничих витрат складає більше 30 %, збільшення показників якості продукції (узагальнюючих, індивідуальних та непрямих) – 80 %.

У процесі експлуатаційної підтримки виробу оптимізація часу вивчення технічної документації складає 30 %, зменшення термінів прогнозування

інформаційної підтримки – 70 %, а витрат технічної документації – від 10 % до 50 %.

На стадіях маркетингових досліджень, стратегічного планування та зовнішнього проєктування авіатехніки необхідно організувати імітаційне моделювання ЖЦВ та провести узгодження необхідних параметрів проєкту з усіма його учасниками. Це дозволить значною мірою підвищити точність і достовірність прогнозування попиту, витрат, технічної реалізації проєкту і, як наслідок, значно скоротити ризик провалу проєкту через прийняття помилкових рішень на стадії зовнішнього проєктування. Крім того, лише суттєве підвищення точності прогнозування обсягів попиту та витрат дозволить обґрунтовано оптимізувати проєктні параметри нових виробів та напрями перспективних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Доцільно організувати взаємодію із замовниками в рамках інтерактивної системи управління взаємовідносинами з клієнтами, в основі якої має знаходитись інтернет-сайт підприємства.

### **3.2 Економічні аспекти CALS-технологій на стадіях технічної підготовки виробництва**

Програмно-апаратні засоби CALS активно впроваджуються на стадіях технічної підготовки виробництва авіатехніки, таких як стадії робочого проєктування, випробувань та доведення, ТПВ. Завдяки впровадженню CALS-технологій в авіаційній промисловості США було досягнуто скорочення витрат на [19, 20]:

- проєктування – від 10 % до 30 %;
- підготовку технічної документації – до 40 %;
- розроблення експлуатаційної документації – до 30 % тощо.

Зниження витрат на розроблення конструкції виробу та технології його виробництва – не єдиний фактор, що визначає економічну ефективність впровадження CALS-технологій на стадії проєктування. Понад те, не завжди його вважатимуть вирішальним. У сучасних умовах слід звертати увагу не лише на здешевлення передвиробничих (технічної підготовки виробництва) стадій ЖЦВ, але й на їх прискорення. Як зазначається в [13], впровадження CALS-технологій в авіаційній промисловості США дозволило скоротити тривалість розробки виробів на 40–60 %. Зауважимо, що відносне скорочення тривалості розробки суттєвіше, ніж відносне скорочення вартості (10–30 %). Безпаперові технології проєктування виробів у поєднанні з числовим програмним керуванням (далі – ЧПК) технологічним обладнанням дозволяють радикально

скоротити тривалість передачі виробу в серійне виробництво.

На стадії випробувань авіатехніки впровадження принципів і технологій CALS дозволяє скоротити тривалість періоду випробувань і потрібний обсяг випробувальних польотів у зв'язку з тим, що:

- з'являється можливість організувати вати оперативну обробку інформації, що збирається в польоті, в реальному масштабі часу;
- за допомогою засобів управління льотним експериментом під час польоту можна оперативно змінювати польотне завдання, що підвищує якість отриманої інформації та частку залікових польотів;
- полегшується реалізація зворотного зв'язку між випробувальними підрозділами та розробниками виробів. Як наслідок, більш оперативно і з меншими витратами вносяться корективи в конструкцію виробів за результатами випробувань, тобто прискорюється і здешевлюється процес доведення.

Загалом завдяки застосуванню CALS-технологій на передвиробничих стадіях ЖЦВ, за оцінками американських авіабудівельних компаній, досягається скорочення часу виведення нових виробів на ринок на 25–75 % [13]. Наскільки це ефективно з економічного погляду? Виробник, який представив свою продукцію на ринку раніше конкурентів, отримує ряд переваг:

- значний накопичений випуск дозволяє знизити (за рахунок ефекту навчання) собівартість виробництва та дефектність продукції;
- наявність значного парку виробів в експлуатації дозволяє знизити вартість їх технічного обслуговування та ремонту; крім того, у післяпродажному обслуговуванні, як і в серійному виробництві, виявляються ефекти навчання;
- досвід успішної експлуатації виробів, раніше представлених на ринку, створює позитивну репутацію їх виробнику, якої нові учасники ринку поки що не мають.

Авторитет виробника та досвід успішної експлуатації його виробів також отримують у замовників свою економічну оцінку, хоч і неформальну, але не менш важливу в порівнянні з кількісними показниками ефективності авіатехніки.

В результаті дії перерахованих вище факторів, навіть якщо нові продукти потенційно більш ефективні (тобто, наприклад, могли б забезпечити меншу вартість льотної години за умови одночасного з конкурентами виходу на ринок), вони можуть не вийти на ринки, вже зайняті конкурентами. Цей ефект називається ефектом блокування [25]. Через наявність сильних ефектів навчання і блокування радикально зростає роль так званої тимчасової конкуренції на ринках авіатехніки. Підприємства прагнуть представити свої нові вироби на

ринках раніше конкурентів, нехай навіть ціною додаткових витрат на форсування передвиробничих стадій ЖЦВ. У військовому секторі ринку авіатехніки, а також у космічній сфері така практика є звичайною і не завжди пояснюється економічними причинами. Скорочення тривалості передвиробничих стадій ЖЦВ та забезпечення лідерства країни в цих галузях, як правило, є абсолютними пріоритетами з міркувань забезпечення обороноздатності або національного престижу. У цьому випадку прискорення НДР і ДКР та ТПВ за рахунок впровадження CALS-технологій стає безумовною необхідністю.

Порівняти ефективність економії коштів, що досягається завдяки CALS, і часу, що витрачаються на проектування виробів і ТПВ, можна за допомогою найпростішої моделі тимчасової конкуренції.

Розглянемо умовний приклад, що ілюструє важливість скорочення тривалості передвиробничих стадій ЖЦВ. Компанії А і В планують вивести на ринок літаки, що належать до одного класу. При цьому загальна тривалість ЖЦВ з початку робочого проектування оцінюється в 25 років, сумарний обсяг попиту на літаки даного класу прогнозується на рівні 100 виробів на рік, і компанія лідер (фірма А) виводить свій продукт на ринок через 5 років після початку проектування. Будучи монополістом, вона може встановити ціну на рівень не 150 млн. дол. Припустимо, що після виходу на ринок конкуруючого виробу обидві фірми поділять цей ринок порівну і встановлять однакові ціни на рівні 120 млн. дол. практично неминучий програш фірми або в ціні, або в частці ринку через пізнішого виходу на даний ринок. Це означає, що насправді висновки для компанії В будуть песимістичнішими порівняно з тими, які отримані нами в досить спрощеному прикладі.

Прийmemo такі параметри функцій витрат. Нехай початкові вкладення кожен проект дорівнюють 10 млрд. дол.; питомі матеріальні витрати на 1 літак становлять 50 млн. дол.; питомі трудовитрати на перший екземпляр (у вартісному виразі) становлять 135 млн. дол. При цьому питомі трудовитрати скорочуються на 20 % при подвоєнні накопиченого випуску за рахунок ефекту навчання. Позначимо:  $P_A$ ,  $P_B$  – прибутки компаній А і В, млрд. дол.;  $FC_A$ ,  $FC_B$  – постійні витрати компаній А і В, млрд. дол.

На графіках рисунку 3.1 зображено отримані за допомогою запропонованої спрощеної моделі, які реалізовано в Microsoft Excel, залежності очікуваного прибутку обох конкурентів від тривалості передвиробничих стадій проекту фірми В. При цьому обсяг початкових вкладень у кожен проект варіюється в межах 20 % від очікуваного рівня.

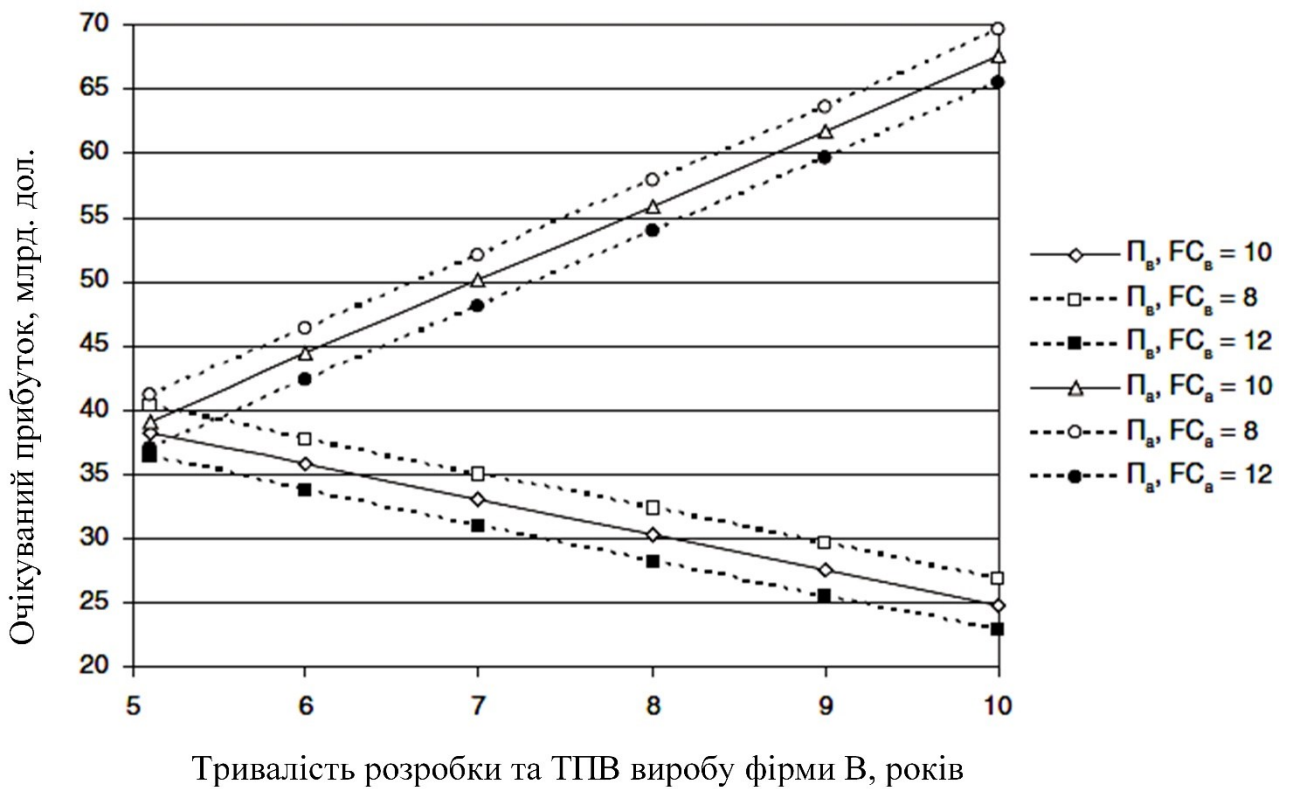


Рисунок 3.1 – Залежність очікуваного прибутку фірм-конкурентів від тривалості передвиробничих стадій проєкту фірми В

Як показують розрахунки, збільшення тривалості передвиробничих стадій ЖЦВ на 20 % (з 5 до 6 років) призводить до скорочення очікуваної величини прибутку фірмі В на 2,6 млрд. дол. При цьому збільшення початкових вкладень у проєкт фірми В, що становили 10 млрд. дол., на ті ж 20 % скоротило б прибуток компанії рівно на 2 млрд. дол. Якщо ж, наприклад, запізнення проєкту фірми В щодо конкурента складе 10 років, фірма А зможе отримати прибуток у 2,5 рази більше, ніж фірма В, і т.д.

Крім скорочення очікуваної тривалості передвиробничих стадій ЖЦВ, важливе значення має і скорочення ризику непередбаченого збільшення їх тривалості. Завдяки впровадженню CALS-технологій помітно зменшується обсяг необхідних конструктивних змін, доробок, виправлення помилок тощо. За даними дослідження [13], в авіаційній промисловості США скорочення обсягу конструктивних змін при впровадженні CALS технологій склало 23–73%. У результаті скоротився технічний ризик зриву заданих термінів розробки та доведення характеристик виробів до заданого рівня.

### Висновки по розділу 3

1. На передвиробничих стадіях життєвого циклу авіатехніки впровадження інформаційних технологій дозволяє суттєво скоротити тривалість і вартість

робочого проектування, випробувань, доведення та ТПВ, що призводить до виграшу у конкурентній боротьбі. Це особливо важливо, якщо брати до уваги ефекти блокування на ринках авіатехніки.

2. Використання CALS-технологій дозволяє підвищити конкурентоспроможність вітчизняної авіапромисловості в сучасних умовах, а також якість авіатехніки, що випускається, і наданих послуг при її експлуатації, скоротити витрати виробництва.

2. Більш ранній вихід нових виробів на ринок також дозволяє суттєво покращити показники інвестиційної привабливості авіаційних проєктів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European Aviation Safety Agency, Certification Specifications for Very Light Airplanes, 2009.
2. Компьютерные технологии проектирования: Консп. лекций / А. Г. Гребеников, А. М. Гуменный, В. В. Парфенюк и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2001. – Ч. 1. – 449 с.
3. ОСТ 1.42296-85 Система увязки геометрических параметров и обеспечения взаимозаменяемости узлов и агрегатов летательных аппаратов.
4. РТМ-1318 Методы и средства безплазовой увязки элементов заготовительной и сборочной оснастки.
5. РТМ 1.4.1377-84 Система увязки геометрических параметров и обеспечения взаимозаменяемости узлов и агрегатов летательных аппаратов.
6. Желтенков А. А., Янов И. Е., Жангуразов А. Р. Проблемы реализации производственных программ в авиационной промышленности // Экономика и предпринимательство. 2017. № 2–2 (79–2). С. 1012–1016.
7. Желтенков А. В., Моттаева А. Б., Жангуразов А. Р. Управление организационными изменениями на промышленных предприятиях: проблемы и концепции // Экономика и предпринимательство. 2017. № 2–2 (79–2). С. 968–972.
8. Внучков Ю. А., Шевченко М. И. Стратегия развития логистической системы корпорации // Научные труды (Вестник МАТИ). 2012. № 19 (91). С. 259–264.
9. Джамай Е. В., Сазонов А. А., Ладошкин М. П. Исследование теоретических аспектов комплексной автоматизации научно-производственной деятельности на предприятиях наукоёмких отраслей // Насосы. Турбины. Системы. 2015. № 3 (16). С. 32–41.
10. Найшулер Б. И. Информационные технологии управления наукоемким производством. Казань: Казанский технический университет им. А. Н. Туполева. 2007. 143 с.
11. Ключков В. В. Организационно-экономические аспекты внедрения CALS-технологий в авиационном двигателестроении // Технология машиностроения. 2006. № 5. С. 81–86.
12. Ключков В. В. CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты: монография. М.: Московский государственный университет леса. 2008. 124 с.
13. Судов Е. В., Левин А. И., Давыдов А. Н., Барабанов В. В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М.: НИЦ CALS-

- технологий «Прикладная логистика». 2002. 129 с.
14. Джамай Е. В., Сазонов А. А., Петров Д. Г. Адаптация метода функционально-стоимостного анализа для автоматизации управления предприятием (на примере авиационной промышленности) // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2016. № 2. С. 210–212.
  15. Соколов В. П., Силуянова М. В., Курицына В. В. Создание интегрированной среды подготовки специалистов аэрокосмической отрасли на основе CALS-технологий: Отчет о НИР «Инновационные научно-методические образовательные проекты» Минобрнауки России. М.: МАТИ, 2004. – 158 с.
  16. Rehg J. A. Computer-integrated manufacturing. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Career & Technology, 1994. – 460 p.
  17. Силуянова М. В., Рождественская К. С. Современные методы технико-экономического анализа и управления производством газотурбинных двигателей: монография. М.: МАТИ, 2006. – 236 с.
  18. ISO 9002: 94: Системи якості. Модель для забезпечення якості при виробництві, монтажі та обслуговуванні.
  19. ECSS-M-ST-10C Rev. 1 – Space project management. Project planning and implementation, ESA, ESA Requirements & Standards Division, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 2009. – 140 p.
  20. Nghi M. Nguyen Effective Space Project Management // Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium / Houston, Texas, USA, 2000. – 118 p.
  21. Орлов А. И., Волков В. А. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов // Экономический анализ: теория и практика. 2014. №11 (363). – С. 41–47.
  22. Коротков В. А. Информационное обеспечение жизненного цикла авиационного изделия в системе CALS-технологий // Научный вестник МГТУ ГА. – 2007. № 124. – С. 37–39.
  23. Володин С. В. Управление фазами жизненного цикла проектов в наукоемкой отрасли // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2013. № 2. – С.39–47.
  24. Брусникин В. Ю., Глухов Г. Е., Черников П. Е. Жизненный цикл авиационной техники на этапе эксплуатации в информационно-аналитической системе мониторинга летной годности воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2016. № 15. – С. 33–39.
  25. Arthur Brian W. Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events // Economic Journal. 1989. № 99. P. 116–131.



26. Воробйов, Ю. А. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів [Текст] : навч. посіб. / Ю. А. Воробйов, Ю. О. Сисоєв. – 4-те вид., випр. і доп. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.